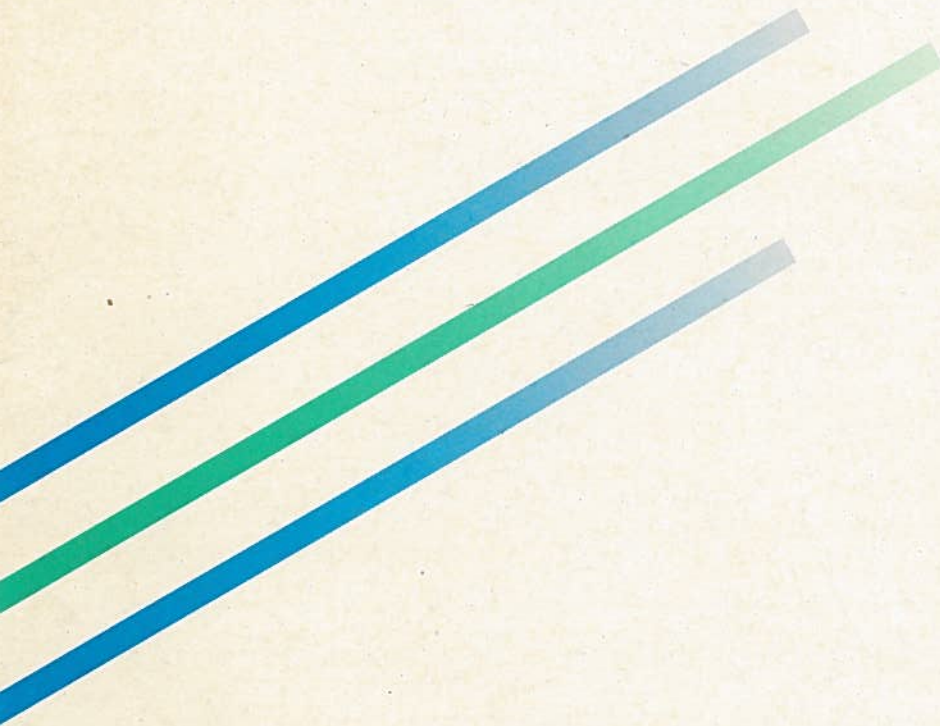


1

Martti Häikiö ja Jyrki Laitinen

Laskeutusaltaan toimivuus maatalouden peruskuivatuksen yhteydessä



Pohjois-Savon ympäristökeskuksen moniste



Martti Häikiö ja Jyrki Laitinen

Laskeutusaltaan toimivuus maatalouden peruskuivatuksen yhteydessä

Kuopio 1996

POHJOIS-SAVON YMPÄRISTÖKESKUS

Pohjakartat © Maanmittauslaitos
lupanro 7/MML/15

Kartat (liite 1 ja 3) julkaistu Maanmittauslaitoksen
luvalla nro 237/maa/96

Sisällys

- Johdanto 5
- Yleistä 6
- Aikaisempia tutkimuksia 8
- Tutkimukset 9
 - 4.1. Virtaaman ja sadannan mittaus sekä näytteenotto 9
 - 4.2. Tuijanpuro 9
 - 4.2.1. Alue 9
 - 4.2.2. Allas 10
 - 4.3. Luomannevanoja 12
 - 4.3.1. Alue 12
 - 4.3.2. Allas 12
- Tulokset 13
 - 5.1. Tuijanpuro 13
 - 5.1.1. Hydrologia 13
 - 5.1.2. Kiintoaine 14
 - 5.1.3. Ravinteet 20
 - 5.1.4. Sortumat 28
 - 5.2. Luomannevanoja 29
 - 5.2.1. Hydrologia 29
 - 5.2.2. Kiintoaine 29
 - 5.2.3. Ravinteet 31
- Johtopäätökset 33

Johdanto



Maatalouden vesiensuojeluvaatimusten kasvaessa myös laskeutusaltaiden käyttöä maatalouden valumavesien käsittelyssä on lisätty. Altaiden rakentamiseen ja ylläpitoon myönnetään maatalouden ympäristötuen erityistukea samoin periaattein kuin kosteikkoihin. Altaiden vaikutusta viljelyalueilta ja niiden ojaverkosta vesistöön joutuvaan kuormitukseen ei ole Suomessa paljonkaan tutkittu. Samanaikaisesti altaisiin on kohdistettu odotuksia, jotka tuntuvat laskeutusteorian valossa liian suurilta. Tämän vuoksi aloitettiin syksyllä 1994 kaksi intensiivistä laskeutusallastutkimusta. Tuijanpuron tutkimuskohde sijaitsee Rautalammin Kerkonkosken kylässä ja Luomannevanojan tutkimus puolestaan sijaitsee Lapuan Haapakosken kylässä. Vuonna 1995 toteutettiin molempien altaiden valuma-alueella uusintaajitukset, joiden yhteydessä rakennettiin myös altaat.

Laskeutusaltailla voidaan vähentää veden mukana kulkeutuvaa kiintoainetta. Viljelyalueiden valumavesissä etenkin fosfori on suurelta osin kiintoaineeseen sitoutuneena, joten tehokkaalla kiintoaineen laskeuttamisella on periaatteessa mahdollista saavuttaa hyviä tuloksia myös fosforin poistossa. Edellytyksenä on kuitenkin, että hitaastikin laskeutuvat partikkelit, joihin fosfori enimmäkseen on sitoutunut, saadaan poistettua vedestä.

Mineraalipartikkelit laskeutuvat sitä nopeammin mitä suurikokoisempia ne ovat. Erikokoisten mineraalimaiden laskeutumismisnopeuksia on esitetty taulukossa 1. Osa materiaalista kulkee uomissa pohjanmyötäisesti ryömien ja jää altaan yläosaan heti virtaaman hidastuessa. Veteen sekoittunutta materiaalia laskeutuu vähitellen, mutta hienorakeisin aines jää veteen suotuisissakin olosuhteissa.

Taulukko 1. Erikokoisten mineraalipartikkeleiden laskeutumismisnopeuksien suuruusluokkia, kun partikkeleiden tiheys on $2\,650\text{ kgm}^{-3}$.

rakennustekninen luokka	raekoko (mm)	laskeutumismisnopeus	
		(m h ⁻¹)	(mm s ⁻¹)
hiekkä	>0,2	>75	>21
hieta	0,02 - 0,2	1 - 75	0,3 - 21
hiesu	0,002 - 0,02	0,01 - 1	0,003 - 0,3
savi	< 0,002	< 0,001	< 0,003

Karkeiden maalajitteiden lisäksi myös hienompia maalajeja laskeutuu altaaseen, mutta poistotehokkuus pienenee merkittävästi raekoon pienentyessä. Altaan toimintaa voidaan arvioida siihen tulevien partikkeleiden laskeutumismisnopeuden ja altaan pintakuorman avulla. Altaan pintakuorma määritellään altaaseen tulevan virtaaman ja altaan pinta-alan osamääränä ja se kuvaa ihanteellisissa olosuhteissa pienimmän altaaseen täysin laskeutuvan maalajin laskeutumismisnopeutta. Käytännössä altaissa on runsaasti laskeutumista häiritseviä tekijöitä. Tällaisia ovat muun muassa oikovirtaukset, turbulenssi ja lämpöeroista aiheutuva diffuusio. Hiesun ja sitä hienomman materiaalin poisto on hitaan laskeutumismisnopeuden vuoksi vaikeaa, jos se on vedessä yksittäisinä hiukkasina.

Altaaseen voi joissakin tilanteissa pidäytyä myös liukoisia ravinteita. Veteen liuennutta fosfaattifosforia voi suotuisissa olosuhteissa sitoutua kiintoaineen pinnalle, josta osa sedimentoituu altaaseen. Fosfaattia voi lisäksi sitoutua altaan kasvillisuuteen, kuten levään. Ammoniumtypen nitrifioituminen hapellisissa olosuhteissa nitriitiksi ja edelleen nitraatiksi vaikuttaa epäorgaanisen typen olomuotojen välisiin suhteisiin. Typeä voi poistua altaasta nitraattitypen denitrifioituessa molekulaariseksi typeksi vähähappisissa pienympäristöissä, joita altaassa

voi ajoittain syntyä. Näiden lisäksi perustuotanto, typen sidonta, orgaanisen materiaalin sedimentoituminen ja hajotustoiminta vaikuttavat typen olomuotojen suhteisiin ja typen määrään altaan vedessä.

Suomalaisia tai Suomen oloihin yleistettäviä maa- ja metsätalouden laskeutusallastutkimustuloksia on vielä suhteellisen vähän. Viime vuosina Suomessa on raportoitu maatalouden laskeutusallastutkimuksista Uudellamaalla (Taponen 1995) ja Satakunnassa (Tiihonen 1994, Hirvonen ym. 1996). Taponen (1995) on omien tutkimustulostensa lisäksi esittänyt katsauksen aikaisempiin laskeutusallastutkimuksiin. Metsäojituksen yhteydessä rakennettuja altaita ja niiden toimivuutta on selvitetty laajamittaisessa tutkimuksessa, jonka kohteena on ollut useita altaita (Joensuu 1994, Ahti ym. 1996). Ulkomaisia tutkimustuloksia on ainakin Ruotsista (Stibe 1991, Wennberg 1991, Kellner 1992, Lindkvist 1992, Lindkvist ja Håkansson 1993), Norjasta (Braskerud 1995) ja Pohjois-Amerikasta (Bondurant ym. 1975, Brown ym. 1981, Reddy ym. 1982, Devito 1989).

Kuhunkin tutkimukseen liittyy omat erityispiirteensä, mutta tutkimustulokset viittaavat yleisesti siihen, että altaan pidätyskyky veteen sekoittuneen kiintoaineen suhteen riippuu oleellisesti valuma-alueen ominaisuuksista ja altaaseen tulevan virtaaman suuruudesta. Valuma-alueen ominaispiirteistä erityisesti maa-lajit ja niiden eroosioherkkyys, maanpinnan ja valtaojan kaltevuus, kuivatustapa, kasvipeitteisyys, alueen hydrologia ja valunnan vuodenaikaisvaihtelut vaikuttavat altaaseen kulkeutuvan kuormituksen määrään ja laatuun (mm. Joensuu 1994). Virtaaman suuruus vaikuttaa veden kykyyn kuljettaa materiaalia mukanaan. Pienillä virtaamilla tutkimusaltaiden pidätyskyky on ollut yleisesti heikompi kuin suurilla virtaamilla, minkä on todettu johtuvan laskeutumiskykyisen materiaalin puuttumisesta altaaseen tulevasta vedestä (mm. Bondurant ym. 1975). Liian suurilla virtaamilla altaan virtaustila muuttuu hiukkasten laskeutumisen kannalta epäedulliseksi, mikä vaikuttaa altaan kykyyn pidättää kiintoainetta (mm. Brown ym. 1981). Joissakin tilanteissa altaat ovat aiheuttaneet lisäkuormitusta, ja vain harvoissa tutkimuksissa on raportoitu kiintoaineen poistuneen vedestä yli 50-prosenttisesti.

Suomalaisissa metsäojitukseen liittyvissä tutkimuksissa on kiinnitetty huomiota altaan merkitykseen pohjaryömintänä kulkeutuvan kiintoaineen kiinnittäjänä. Vesianalyysien ja virtaamahavaintojen perusteella altaiden pidätyskyky on voinut olla heikko, mutta kuitenkin altaaseen on kertynyt paljon sedimenttiä, jonka raekoko on ollut pääosin karkeaa hiesua, hietaa ja hiekkaa. Kirjallisuuden mukaan allas onkin käyttökelpoinen rakenne alueella, jossa eroosio on ongelma ja maaperä valtaosin hietaa tai hiekkaa (Joensuu 1995, Ahti ym. 1996).

Ravinteiden pidätysteho on ollut tutkimusaltaissa vaihtelevaa. Kokonaisfosforin poistuminen tai vapautuminen altaista on riippunut kiintoaineen poistumisesta tai vapautumisesta (mm. Brown ym. 1981). Liukoista, kasveille suoraan käyttökelpoista fosforia ei olla yleensä kyetty poistamaan altailla. Tutkimusaltaiden on usein raportoitu lisäävän kokonaistyyppä ja vain harvoin on saavutettu hyviä tuloksia typen poistumisen suhteen. Myös epäorgaanisen typen suhteen on esitetty toisistaan poikkeavia tutkimustuloksia, eikä niiden poistumiseen tai vapautumiseen vaikuttavia mekanismeja ole tutkimuksissa pystytty täysin selvittämään.

Tutkimukset

4.1. Virtaaman ja sadannan mittaus sekä näytteenotto

Tuijanpuron ja Luomannevanon tutkimusten lähtökohtana oli selvittää altaiden toimivuutta valuma-alueelta ja uomasta tulevan kuormituksen vähentäjänä. Tutkimuksissa on otettu vesinäytteitä sekä altaan ylä- että alapäästä virtaamapainotteisesti. Molemmilla tutkimuskohteilla virtaamaa ja sadantaa mitataan jatkuvatoimisilla mittareilla, minkä lisäksi altaiden ylä- ja alapäässä on automaattiset näytteenottimet.

Näytteiden oton ja virtaamanmittauksen ohella on arvioitu sedimentoituneen kiintoaineen määrää altaissa, sekä analysoitu sedimenttinäytteiden rakeisuutta ja kokonaisravinteita. Lisäksi on kartoitettu valuma-alueilla tehtyjä toimenpiteitä sekä alueiden ominaispiirteitä, kuten maalajeja ja viljelytietoja.

Kaikista Tuijanpuron vesinäytteistä on analysoitu kiintoaine. Kiintoaineen määrittämiseen on käytetty kaksivaiheista suodatusta, jossa näyte suodatetaan ensin 1 µm suodattimella (GF-C), minkä suodoksesta tehdään 0,45 µm suodatus (nucleopore). Lisäksi suurimmasta osasta näytteitä on analysoitu kokonaisfosfori, fosfaattifosfori, kokonaistyyppi, nitraatti- ja nitriittityppi sekä ammoniumtyppi. Luomannevanon tutkimuksessa vesinäytteistä on analysoitu kiintoaine, kokonaisfosfori ja kokonaistyyppi. Luomannevanon näytteiden kiintoainemääritykset on tehty suoraan nucleopore-suodattimella.

Normaalin näytteenoton ohella Tuijanpuron yläasemalta otetusta 40 litran näytteestä määritettiin laskeutumisnopeusjakauma, jota käytettiin veteen sekoittuneen kiintoaineen teoreettisen poistumiskyvyn laskemiseksi. Cordoba-Molina ym. (1978) ovat esittäneet lasketusaltaan kiintoainepoistumamallit ihanteellisille ja täysin häirityille olosuhteille. Teoreettinen kiintoaineen pidätyskyky voidaan laskea eri virtaustilanteissa, kun kyseisen tilanteen laskeutumisnopeusjakauma ja altaan pintakuorma tunnetaan. Tuijanpuron vesinäytteen kokeelliseen laskeutumisnopeusjakaumaan sovitettun funktion avulla laskettiin teoreettiset poistumat.

4.2. Tuijanpuro

4.2.1. Alue

Tuijanpuro sijaitsee Rautalammin kunnassa Kerkonkosken kylässä noin 80 km Kuopiosta. Tuijanpuro laskee Niiniveteen, joka on osa valtakunnallisesti merkittävää Rautalammin reittivesistöä. Valtaojan latvaosaan rakennetun laskeutusal-

taan valuma-alue on noin 120 hehtaaria. Peruskartalle rajattu valuma-alue on esitetty liitteessä 1. Tutkimusalueen yläpuoleisen uoman pituus on noin 2,1 kilometriä. Valuma-alue on maankäytön suhteen tyypillistä sisäsuomalaista maa- ja metsätalousaluetta. Aktiivisesti alueella toimii kolme karjatilaa.

Alueella on viljelykäytössä ollut peltoa 37 hehtaaria. Osa pelloista on jälkikäteen metsitetty. Tällä hetkellä viljeltyä peltoa on noin 25 hehtaaria eli hie-
man yli 20 prosenttia valuma-alueesta. Peltoalasta noin 60 prosenttia on ollut tutkimuksen aikana säilörehunurmella tai laitumena. Noin 40 prosentilla pelto-
alasta on viljelty kauraa tai ohraa. Suurin osa pelloista on jatkuvasti kasvillisuu-
den peittämää. Metsää tai metsitettyä peltoa valuma-alueella on noin 95 hehta-
aria. Tähän sisältyy hyvän metsämaan lisäksi umpeen kasvanut lampi ja sitä ym-
päriävä soistunut alue, yhteispinta-alaltaan noin 6 hehtaaria. Tuijanpuron uo-
man pohjamaalajit ovat hienoa moreenia (hkSiMr, HkMr, siHkMr). Maaseutu-
keskuksen selvityksen mukaan valuma-alueen peltojen muokkauskerroksen
maalajit ovat hyvin viljelykäyttöön soveltuva hietaa ja hiesua.

Tuijanpuron peruskuivatus on alunperin toteutettu 1950-luvulla. Edellis-
tä ojituksesta on noin 40 vuotta, ja uoma oli ennen uudelleenojitusta tiheän kas-
villisuuden peittämä. Alue on vielä osittain avo-ojitettua. Viime aikoina toteutet-
tujen ja suunniteltujen salaojitusten sekä maan tiivistymisen ja kulumisen vuok-
si alueen kuivatussyvyyttä on haluttu lisätä. Altaan yläpuolisen uoman uusi pe-
ruskuivatushanke toteutettiin pääasiallisesti heinäkuussa 1995. Lisäksi osa uo-
masta jouduttiin kaivamaan talvityönä maaperän heikon kantavuuden vuoksi.

Rakentamisaika oli varsin kuivaa. Kaivun suorat vesistövaikutukset jäivät
pieniksi, sillä kaivun aikana ei virtaamia esiintynyt lainkaan. Tuijanpuron vasta-
kaivetussa uomassa esiintyi sortumia paikoitellen jo muutamia päiviä kaivun jäl-
keen. Maaperän sortumisherkkyyttä lisää paikoitellen esiintyvä paineellinen
pohjavesi. Paineellisen pohjaveden vaikutusta pyrittiin vähentämään pahimmalla
paikalla valtaojan suuntaisella salaojalla. Lisäksi vastakaivetun uoman luiskiin
kylvettiin paikoitellen nurmikasvien siementä. Toimenpiteistä huolimatta uomaan
syntyi ensimmäisen vuoden aikana suuria sortumia ja uomaa jouduttiin korjaa-
maan kesällä 1996.

4.2.2. Allas

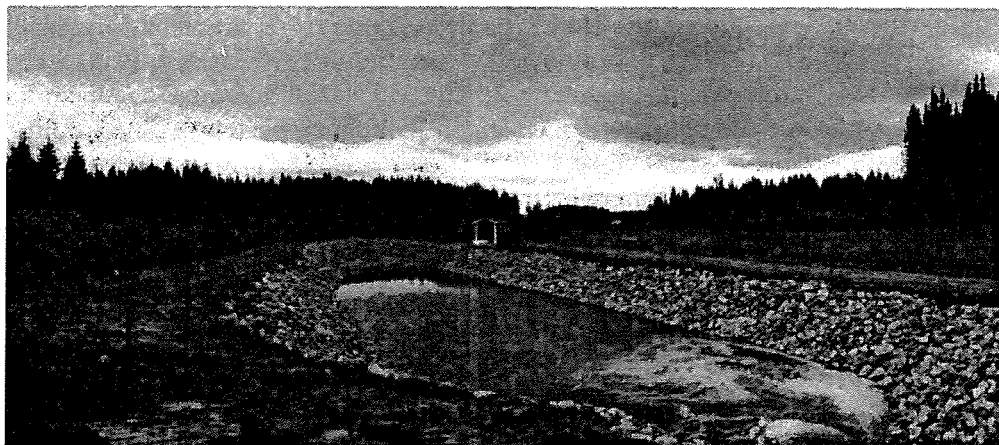
Tuijanpuron laskeutusallas sijaitsee puron yläosalla noin 1,7 kilometrin päässä
Niinivedestä. Altaan valuma-alueen viljeltyt pellot ovat valuma-alueen ylä- ja
sivuosissa. Altaan lähivaluma-alue on metsää tai metsitettyä peltoa. Altaan mi-
toituksessa (taulukko 2) on käytetty vesi- ja ympäristöhallinnon mitoitusohjeita.
Altaan pituusleikkaus ja pintakuva on esitetty liitteessä 2, ja kuva valmiista al-
taasta kuvassa 1. Laskeutusallas rakennettiin kesä-heinäkuussa 1995. Altaan ra-
kentamista häiritsi paineellinen pohjavesi sekä alueen häiriintymisherkkä maa-
laji. Maaperä on altaan kohdalla savista silttiä ja hienoa moreenia (saSi, saSiMr).
Maaperän häiriintyvyyden ja paineellisen pohjaveden vuoksi allasta jouduttiin
vahvistamaan suodatinkankaalla ja kiviverhouksella. Altaan kaivumaat läjitet-
tiin altaan itäpuolelle noin 5 metrin päähän altaasta luiskaksi ja muotoiltiin siten
että altaaseen ei päässyt sivusta valumavesiä.

Vahvistamisen myötä altaan perustamiskustannukset nousivat oleellisesti.
Tutkimuksen edellyttämien vesimittausten vuoksi allas oli sijoitettava paikkaan,
jota ei olisi muutoin valittu. Altaan kustannukset olivat noin 85 000 mk. Ilman
vahvistuksiakin altaan perustamiskustannukset olisivat olleet noin 50 000 mk.

Taulukko 2. Tuijanpuron laskeutusaltaan mitoitusparametrit.

valuma-alueen koko		1,20 km ²
mitoitusvirtaama (MHq=170 l s ⁻¹ km ⁻²)		0,204 m ³ s ⁻¹
vesipinta-ala	(NW)	550 m ²
	(MHW)	620 m ²
pintakuorma mitoitusvirtaamalla		n.1,2 m h ⁻¹
vesitilavuus	(NW)	420 m ³
	(MHW)	640 m ³
viipymä mitoitusvirtaamalla		0,86 h
vesipoikkileikkaus	(NW)	7,6 m ²
	(MHW)	11,5 m ²
virtausnopeus altaassa	(MHQ)	0,018 m s ⁻¹
liettilän korkeus		0,4 m
liettilävuus		120 m ³

Altaan vedenpintaa säätelee ala-aseman rumpuun rakennettu V-pato. V-padon vaikutuksesta altaan tilavuus, virtauspoikkileikkaus ja pinta-ala muuttuvat virtaaman suhteen vedenkorkeuden vaihtelun ollessa noin 0,4 m.



Kuva 1. Tuijanpuron laskeutusallas kesällä 1996

4.3. Luomannevanaja

4.3.1. Alue

Luomannevanaja sijaitsee Lapuan Haapakosken kylässä. Ojan yläosalle rakennetun laskeutusaltaan valuma-alue on noin 110 hehtaaria, josta peltoa on hieman yli 30 hehtaaria, eli hieman alle 30 prosenttia valuma-alueesta. Peruskartalle rajattu valuma-alue on esitetty liitteessä 3. Valuma-alueen pelloilla viljellään lähinnä viljaa. Peltojen kaltevuus on noin 0,015 ja metsän noin 0,07. Alueen maalaji on pääasiassa savea.

Luomannevan ojitus toteutettiin alunperin 1950-luvulla. Uusintaojitus toteutettiin syksyllä 1995 kuivana aikana. Altaan läpi virtasi ensimmäisen kerran vettä vasta huhtikuussa 1996 lumen sulamisen alettua.

4.3.2. Allas

Luomannevanajan allas sijaitsee peltoaukean keskellä ja altaan valuma-alueen pellot alkavat välittömästi sen yläpuolelta. Valuma-alueen yläosa on metsää. Altaan mitoituspäätteet on esitetty taulukossa 3, sekä altaan pintakuva ja poikkileikkaus liitteessä 4. Allas kaivettiin kesällä 1995, eikä vahvistuksia tarvinnut tehdä. Itse ojitustyö haluttiin tutkimuksen vuoksi tehdä märkään aikaan. Työtä siirrettiin loppuvuotta kohti. Siihen oli kuitenkin vihdoon ryhdyttävä, vaikka vettä ei saatu. Luomannevanajan allas toteutettiin pelkästään kaivamalla. Altaan kairukustannukset tulo- ja lähtöojineen ilman tutkimusjärjestelyjä olivat noin 55 000 mk.

Altaasta poistuva vesi menee pienillä virtaamilla jakokaivoon, jossa settipato säätelee altaan vedenkorkeutta. Suurilla virtaamilla jakokaivon poistoputki alkaa padottaa vettä ja vesi virtaa osittain myös tulvauomaa pitkin jakokaivon sivusta. Altaan pinta-ala on keskiyliveden aikana n. 930 m². Vuoden 1996 kevät oli kuiva eikä varsinaista tulvaa esiintynyt ollenkaan, joten kaikki vesi kulki jakokaivon kautta.

Taulukko 3. Luomannevanajan laskeutusaltaan mitoituspäätteet.

valuma-alueen koko		1,1 km ²
mitoitusvirtaama (MHq=170 l s ⁻¹ km ⁻²)		0,18 m ³ s ⁻¹
vesipinta-ala	(MHW)	930 m ²
pintakuorma mitoitusvirtaamalla		n.0,7 m h ⁻¹
vesitilavuus	(MHW)	750 m ³
viipymä mitoitusvirtaamalla		1,16 h
vesipoikkileikkaus ilman lietevara	(MHW)	15 m ²
virtausnopeus altaassa	(MHQ)	0,012 m s ⁻¹
liettilän korkeus		0,4 m
liettilävuus		300 m ³

5.1. Tuijanpuro

5.1.1. Hydrologia

Tuijanpuron latvaosille rakennetun altaan valuma-alue on 1,2 km². Pienille järvetömmille valuma-alueille on tyypillistä virtaaman voimakas vaihtelu. Kuivana aikana Tuijanpurossa ei virtaa lainkaan vettä, mutta kevään ylivaluma voi olla runsasvetisenä keväänä luokkaa 200 l s⁻¹ km⁻². Koska virtaaman ja sadannan havainnointia on tehty alueella vasta pari vuotta, ei taustatietoa alueen tarkalle hydrologiselle arvioinnille ole. Vuoden 1995 keskivaluma oli Tuijanpurolla 7,8 l s⁻¹ km⁻², joka vastaa suuruusluokaltaan Sisä-Suomen vuotuista keskivalumaa. Laukaassa sijaitsevan vertailualueen, Ruunapuron (F=5,39 km²) vuosien 1961 - 1990 keskivaluma oli n. 8,1 l s⁻¹ km⁻² (taulukko 4).

Taulukko 4. Valuman keski- ja ääriarvoja Laukaan Ruunapururolla (F=5,39 km²) vuosilta 1961-1990.

	Mq l s ⁻¹ km ⁻²	Hq l s ⁻¹ km ⁻²	MHq l s ⁻¹ km ⁻²	Nq l s ⁻¹ km ⁻²	MNq l s ⁻¹ km ⁻²
1961-1990	8,1	212,9	98,3	0	0,6
syys-toukokuu	9,3				

Ennen uoman kaivua tarkkailtiin veden laatua lähtötason havaitsemiseksi. Kyseinen kaivua edeltävä tarkkailujakso syyskuusta 1994 toukokuuhun 1995 oli keskimääräistä sateisempi. Ajanjakson keskivaluma oli noin 14,4 l s⁻¹ km⁻². Koko kesä 1995 oli kuivaa aikaa ja kesäkuusta 1995 elokuun 1995 loppuun esiintyi vain yksi lyhyt virtaamajakso. Kuivan kesän jälkeen virtaus alkoi uudelleen syyskuussa 1995. Kaivun jälkeisen tarkkailujakson aikana syyskuusta 1995 toukokuuhun 1996 oli keskimääräistä kuivempaa. Ajanjakson keskivaluma oli noin 6,3 l s⁻¹ km⁻². Vuosien 1961-1990 vastaavina kuukausina Laukaan Ruunapururolla keskivaluma oli 9,3 l s⁻¹ km⁻². Tuijanpuron tarkkailujaksojen aikaisia virtaama- ja valuma-arvoja on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Keski- ja ylivirtaamat, sekä -valumat kaivua edeltävällä- ja kaivun jälkeisellä tarkkailujaksolla Tuijanpuron yläasemalla ($F=1,2 \text{ km}^2$).

	MQ l s^{-1}	Mq $\text{l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$	HQ(d) l s^{-1}	Hq(d) $\text{l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$	HQ(h) l s^{-1}	Hq(h) $\text{l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$
Kaivua edeltävä tarkkailujakso syyskuu 1994 - toukokuu 1995						
syysk. 1994- toukok. 1995	17	14,4	232	197	276	234
syksy 1994	12	11	80	67	86	73
kevät 1995	20	17	232	197	276	234
Kaivun jälkeinen tarkkailujakso syyskuu 1995 - toukokuu 1996						
syysk 1995- toukok. 1996	7,5	6,3	172	145	269	228
syksy 1995	2,2	1,9	26	22	27	23
kevät 1996	11,7	9,8	172	145	269	228

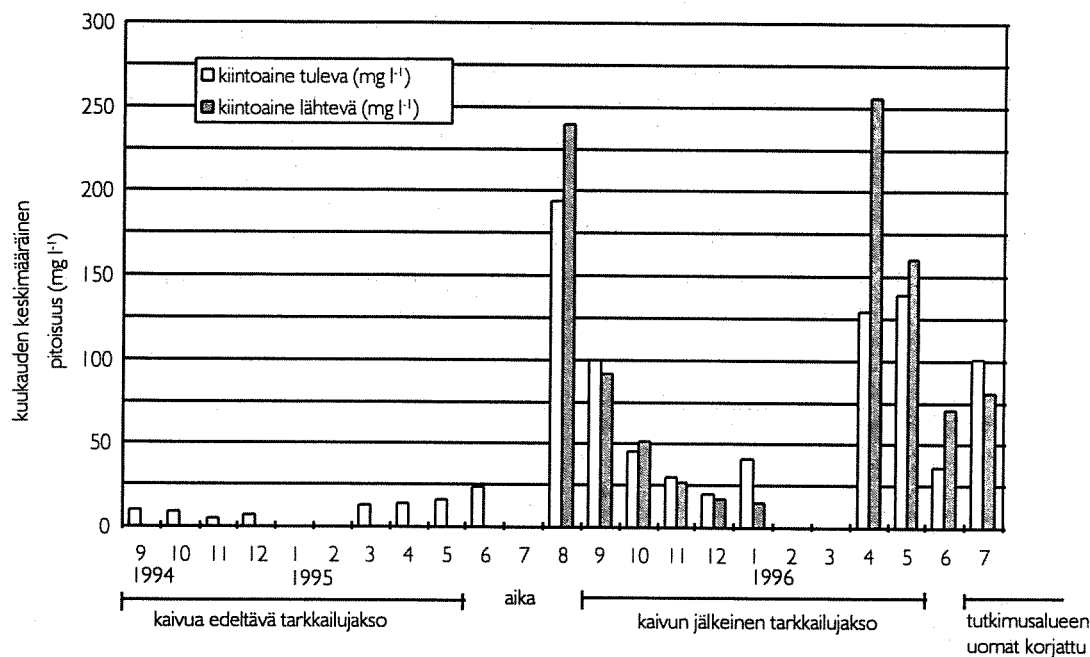
5.1.2. Kiintoaine

Tuijanpurolla kaivun vaikutukset näkyivät selvimmin veden kiintoainepitoisuuksien kasvuna. Syyskuun 1995 ja toukokuun 1996 välisen tarkkailujakson aikainen kiintoainepitoisuus ja kiintoainevirtaama yläasemalla olivat keskimäärin 7-kertaisia kaivua edeltävään tarkkailujaksoon verrattuna. Tuijanpuron analyysituloksista ja virtaamahavainnoista lasketut kuukausittaiset pitoisuudet on esitetty kuvassa 2 ja kiintoainevirtaamat on esitetty kuvassa 3.

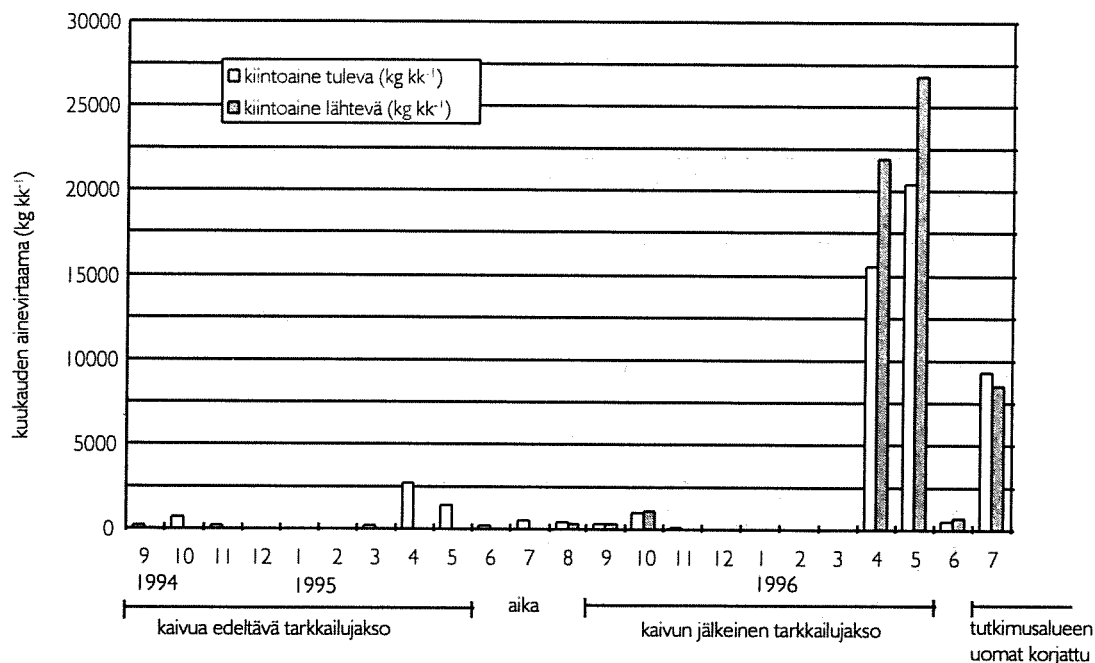
Kiintoainepitoisuus (nuclepore-suodatin) oli syyskuusta 1995 toukokuuhun 1996 keskimäärin 72 mg l^{-1} (11 mg l^{-1}) vaihdellen välillä $12 - 400 \text{ mg l}^{-1}$ ($2 - 60 \text{ mg l}^{-1}$). Suluissa esitetyt arvot ovat kaivua edeltävän tarkkailujakson arvoja.

Aikavälillä syyskuusta 1995 toukokuuhun 1996 yläasemalle kulkeutui kiintoainetta veteen sekoittuneena $37\,000 \text{ kg}$ ($5\,400 \text{ kg}$), mikä vastaa noin 314 kg ha^{-1} (46 kg ha^{-1}) tai 18 kg oja-m^{-1} ($2,6 \text{ kg oja-m}^{-1}$). Kaivun jälkeen kiintoaineesta 93 % oli yli $1 \mu\text{m}$ partikkeleita. Päivittäinen kiintoainevirtaama oli keskimäärin 135 kg d^{-1} (20 kg d^{-1}).

Keväällä 1996 yläaseman ohi kulkeutui kiintoainetta enimmillään $6\,100 \text{ kg d}^{-1}$ (410 kg d^{-1}). Kaivun jälkeisen tarkkailujakson ainevirtaamamaksimi sijoittuu tulvahuippuun, jolloin pitoisuus oli hieman alle maksimipitoisuuden. Kaivua edeltävän tarkkailujakson aikana ainevirtaaman maksimi sijoittui tulvahuipun jälkeiseen päivään, jolloin päivän keskimääräinen kiintoainepitoisuus (23 mg l^{-1}) oli hieman yli kolmasosa päivittäisestä maksimipitoisuudesta ja virtaama oli 214 l s^{-1} . Kaivua edeltävän tarkkailujakson päivittäinen pitoisuusmaksimi (60 mg l^{-1}) esiintyi puolestaan viisi päivää ennen tulvahuippua tulvan nousuvaiheessa. Tällöin virtaama oli 66 l s^{-1} . Koko kaivun jälkeisestä kiintoainekuormasta noin 84 % (50 %) kulkeutui kevätkuun yhteydessä ja 35 % (10 %) kahden maksimipäivän aikana.

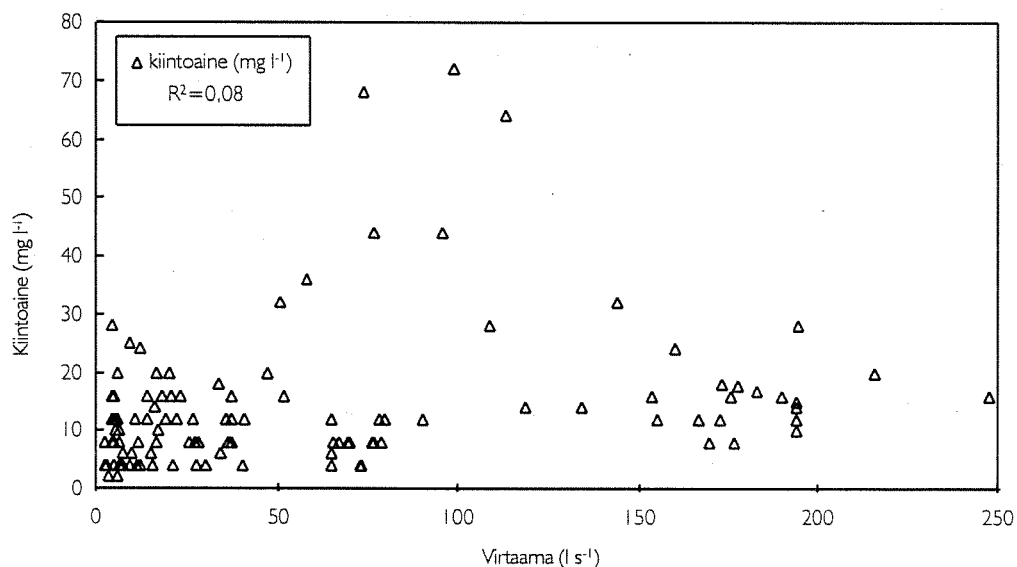


Kuva 2. Kiintoaineen kuukausittaiset pitoisuudet Tuijankuonolla

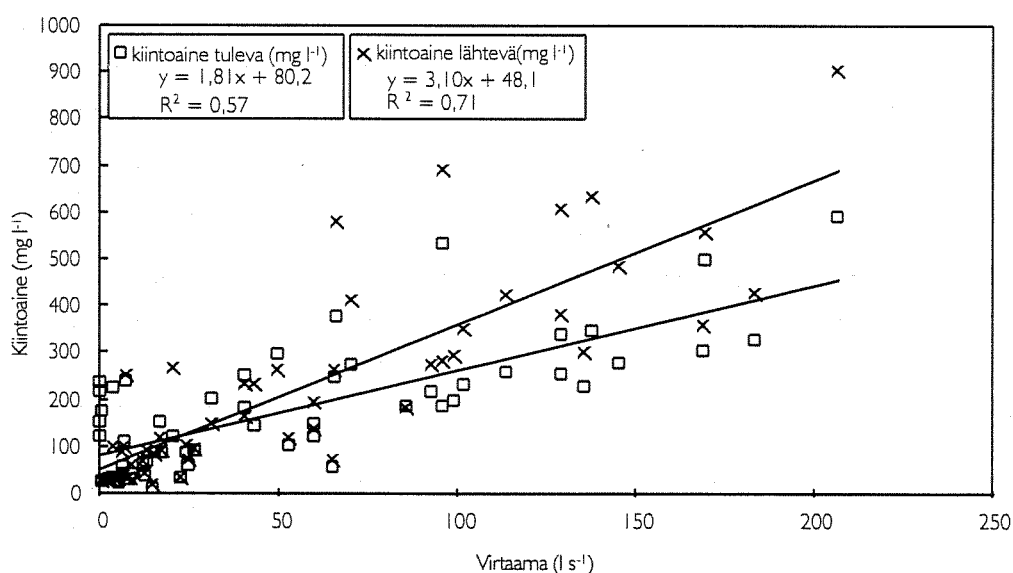


Kuva 3. Kiintoaineen kuukausittaiset ainevirtaamat Tuijankuonolla

Kiintoainepitoisuuden riippuvuus virtaamasta kasvoi uoman kaivun myötä. Kaivua edeltävän tarkkailujakson aikana korrelaatiota virtaaman ja kiintoainepitoisuuden välillä ei ollut ($r^2=0,08$), kun taas kaivun jälkeisellä tarkkailujaksolla virtaama oli todennäköisesti suurin yksittäinen kiintoainepitoisuuksien vaihtelun selittäjä (yläasemalla $r^2=0,57$ ja ala-asemalla $r^2=0,71$). Kuvassa 4 on esitetty kiintoainepitoisuus virtaaman suhteen kaivua edeltävällä tarkkailujaksolla. Kaivun jälkeisen syksyn ja kevään kiintoainepitoisuudet virtaaman suhteen on esitetty kuvassa 5. Korrelaation kasvu kaivun myötä osoittaa uoman kasvillisuuden pidättävän hyvin kiintoainetta joko sitomalla pohjamaata tai suodattamalla uomassa virtaavaan veteen sekoittunutta materiaalia.



Kuva 4. Kiintoainepitoisuus virtaaman suhteen Tuijanpurolla ennen kaivua



Kuva 5. Kiintoainepitoisuus virtaaman suhteen Tuijanpurolla kaivun jälkeen

Vesinäytteistä ja virtaamahavainnoista tehtävissä päätelmissä on otettava huomioon, että näytteenottoasemien välisistä uomista kulkeutui suurien sortumien vuoksi huomattavasti kiintoainetta syyskuun 1995 toukokuun 1996 välisenä aikana. Tämä näkyy altaan alapuoleisten näytteiden analyysituloksissa, joten pelkkien vesinäytteiden ja virtaamahavaintojen perusteella altaan kiintoainepidätystä ei voida laskea. Syyskuusta 1995 toukokuuhun 1996 kiintoainepoistumat vaihtelivat vesianalyysien ja virtaaman perusteella laskettuna välillä -426 - 56 %. Kyseisen tarkkailujakson aikana tutkimusasemien välinen kiintoainepoistuma oli kokonaisuudessaan noin -30 %, eli altaan ala-aseman ohi virranneen veden mukana kulkeutui tarkkailujakson aikana 30 % enemmän kiintoainetta kuin yläaseman ohi.

Tutkimusasemien välisen alueen ainetase syyskuun 1995 ja toukokuun 1996 välisellä tarkkailujaksolla on esitetty taulukossa 6. Taulukossa esitetyt kiintoainemäärät on saatu joko vesinäytteiden analyysitulosten ja virtaamien perusteella tai vaaitsemalla. Tarkimmin tunnetaan yläaseman ja ala-aseman ohi kulkenut kiintoainemäärä ja altaan poistouomasta liikkeelle lähteneen materiaalin määrä. Epätarkimmin on arvioitu tulouomasta liikkeelle lähteneen materiaalin määrä, jota on täsmennetty altaaseen sedimentoituneen materiaalin määräärvion perusteella.

Taulukko 6. Tutkimusalueen ainetasetaulukko, sekä perusteet jolla ainetaseet on laskettu. Negatiivinen luku tarkoittaa tutkimusalueen veden lisääntynyttä kiintoainetta, positiivinen tutkimusalueen vedestä poistunutta kiintoainetta.

Piste	Laskentaperuste	kiintoaine (kg)	(m3)
yläasema	analyysit	-40 000	
tulouoma	vaaittu ja arvioitu	-40 000	27
allas	vaaittu ja arvioitu	+45 000	30
alauoma	vaaittu	-15 000	8
ala-asema	analyysit	+50 000	

Taulukossa 7 on esitetty altaan pidätystehokkuus, joka on saatu ainetaselaskelman perusteella. Allas on pidättänyt noin 60 % siihen kulkeutuneesta kiintoaineesta. Noin puolet altaaseen tulleesta kiintoaineesta on lähtöisin altaan 115 metriä pitkästä tulouomasta. Tulos on karkea arvio todellisesta, sillä tulouoman vaaitustarkkuus jäi väistämättä heikoksi. Luotettavuutta heikentää lisäksi epätarkka arvio altaaseen sedimentoituneen materiaalin määrästä. Altaan vahvistukseen käytettiin isoa kivimateriaalia. Suuri osa sedimentistä on laskeutunut vahvistuskerroksen huokosiin, minkä vuoksi vaaitsemalla saatua arviota sedimentin määrästä on täsmennetty laskennallisesti.

Taulukko 7. Altaan poistuma taulukossa 6 esitetyn ainetaselaskelman perusteella

Piste	kiintoaine (kg)	poistuma (%)
tuleva	80 000	
lähtevä	35 000	60

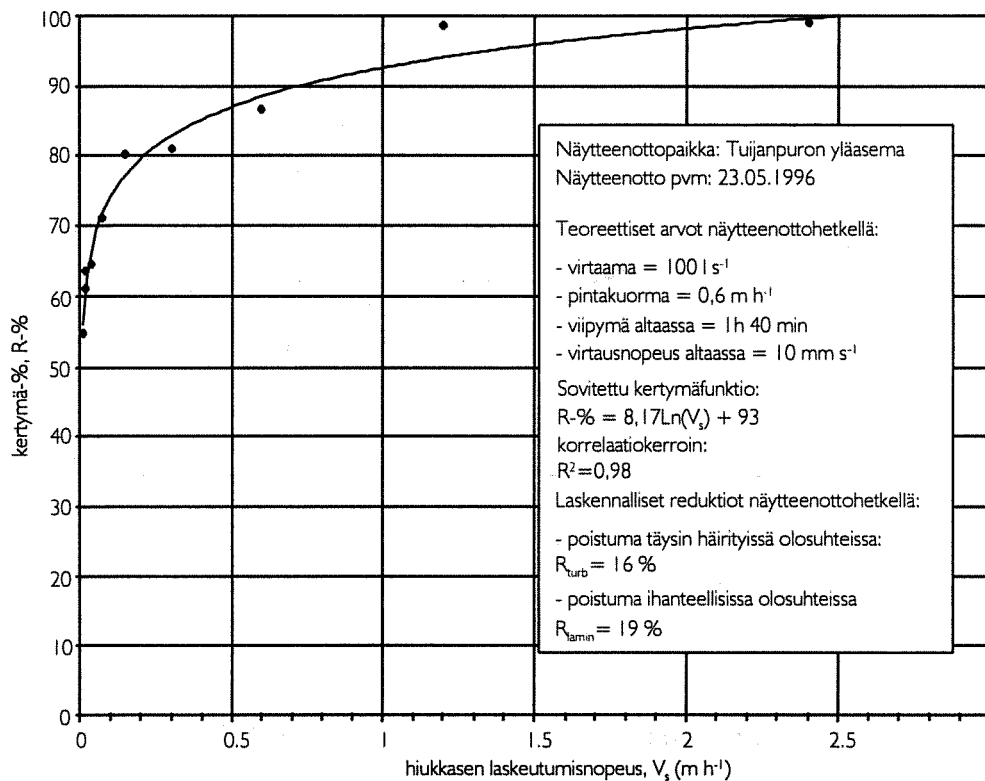
Altaaseen kertyneen sedimentin hienoinemäärä (savi ja hiesu, $D < 0,02$ mm) on rakeisuusmäärittämisestä lasketun suoran keskiarvon perusteella keskimäärin n. 30 % ja karkean materiaalin (hieta, hiekka ja sora) osuus on keskimäärin n. 70 % (taulukko 8).

Taulukko 8. Tuijanpuron altaan sedimentin keskimääräinen maalajikoostumus 10 - 20 metriä altaan yläpäästä rakennusteknisen luokituksen mukaisesti.

Maalaji	Raekoko (mm)	Keskimääräinen osuus (%)
Sa	$< 0,002$	11
Hs	$0,002 - 0,02$	19
Ht	$0,02 - 0,2$	66
Hk	$0,2 - 2$	4
Sr	> 2	0

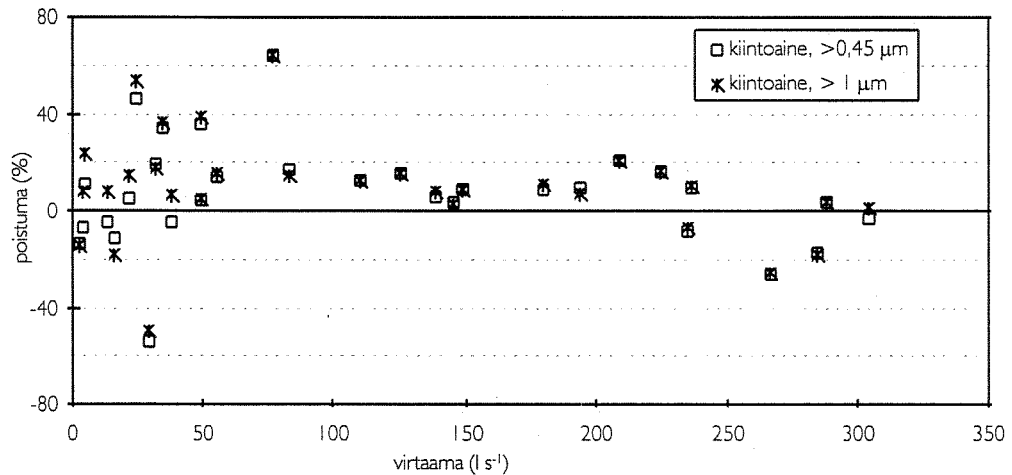
Hieta ($0,02 < D < 0,2$ mm) ja sitä karkeammat maalajit kulkeutuvat osittain pohjakulkeumana ja veteen sekoittunutkin osa on teorian ja altaan mitoituksen mukaan laskeutumiskelpoista. Stokesin lain mukainen laskeutumisnopeus ihanteellisissa virtausolosuhteissa on raekooltaan $0,02$ mm olevalle partikkelille 1 m h^{-1} (vrt. taulukko 1), eli mitoitusvirtaamalla suuruusluokaltaan pintakuorman suuruinen (vrt. taulukko 2). Tätä hienomman kiintoaineen laskeutumisnopeus hidastuu voimakkaasti. Hienojen maalajien osuus sedimentissä on teorian pohjalta arvioiden yllättävän suuri, minkä selityksenä voi olla partikkeleiden yhtyminen isommiksi hiukkasiksi laskeutumisvaiheessa.

Keväällä 1996 yläasemalta otetun 40 litran vesinäytteen sisältämien partikkeleiden laskeutumisnopeus oli käytännössä alle 2 m h^{-1} . Kokeen määrittystulos on esitetty kuvassa 6. Tulos osoittaa että jo karkea hieta pyrkii kulkeutumaan uomassa pohjakulkeumana. Pohjakulkeumana kulkeutuva kiintoaine ei näy kokeessa käytetyssä vesinäytteessä. Ihanteellisissa olosuhteissa altaan teoreettiseksi pidätystehokkuudeksi saatiin noin 19 % ja virtauksen laskeutumista häiritsevä vaikutus huomioituna pidätystehokkuus oli noin 16 % kyseisessä tilanteessa. Lasketut poistumat edustavat mahdollisen poistuman ääriarvoja ja todellinen arvo on näiden välillä. Kokeen kertaluontoisuus estää tekemästä pitkälle meneviä päätelmiä, mutta tuloksen perusteella virtauksen turbulenttisuuden laskeutumista häiritsevä vaikutus olisi pienempi kuin altaita mitoittaessa on yleisesti arveltu.



Kuva 6. Tuijanpuron yläasemalta otetun vesinäytteen laskeutumisnopeusjakauma ja sen perusteella laskettu altaan teoreettinen pidätyskyky

Kesän 1996 alustavat tulokset tukevat syksyn 1995 ja kevään 1996 tuloksia. Kesäkuussa allasalueen uomien sortuminen estettiin vahvistamalla uomia, joten yläasemalla havaittu veden laatu vastaa altaaseen tulevan veden laatua. Yläasemalle tulee käytännössä pelkästään veteen sekoittunutta materiaalia, sillä pohjakulkeuma pidättyy ennen yläasemaa olevaan pieneen ojan syvennykseen. Heinäkuun alkupuoliskon valunnat vastasivat suuruusluokaltaan kevään valuntoja. Ylä- ja ala-asemien ainetaseiden perusteella allas on pidättänyt heinäkuussa 1996 noin 8 % altaaseen tulleesta kiintoaineesta. Kuvassa 7 on esitetty heinäkuussa 1996 havaittujen kiintoainepoistumien riippuvuus virtaamasta. Kiintoaineen poistuma on ollut positiivinen virtaamavälillä $50 - 230 \text{ l s}^{-1}$. Tätä pienemmillä tai suuremmilla virtaamilla altaassa on esiintynyt ajoittaista kiintoaineen lisääntymistä.

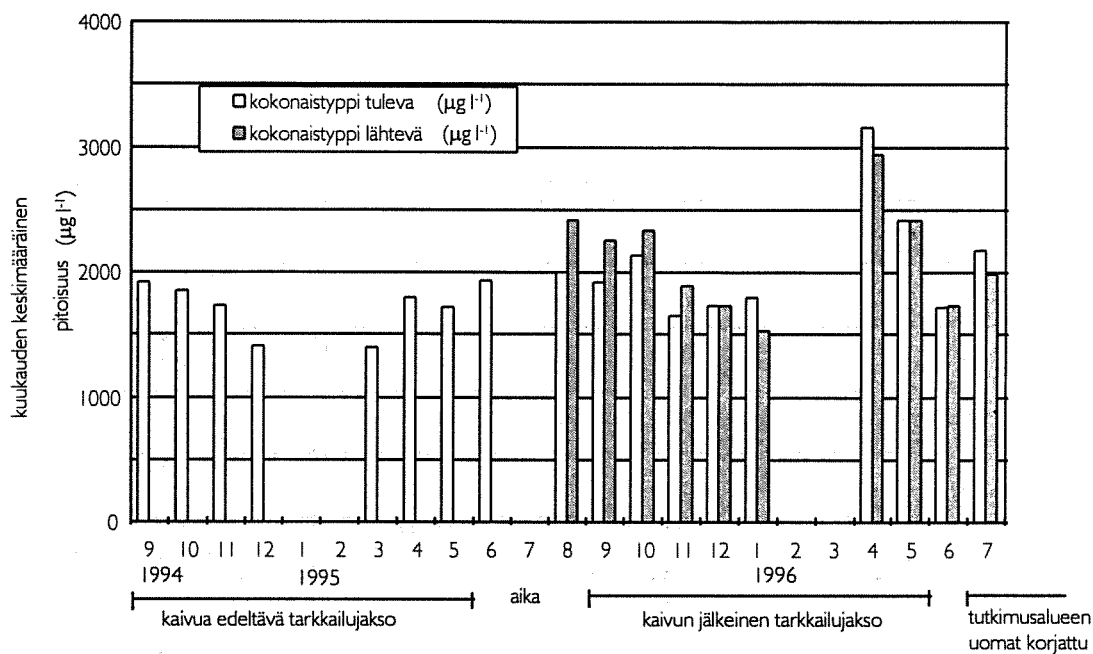


Kuva 7. Kiintoaineen poistuma virtaaman suhteen Tuusulalla heinäkuussa 1996

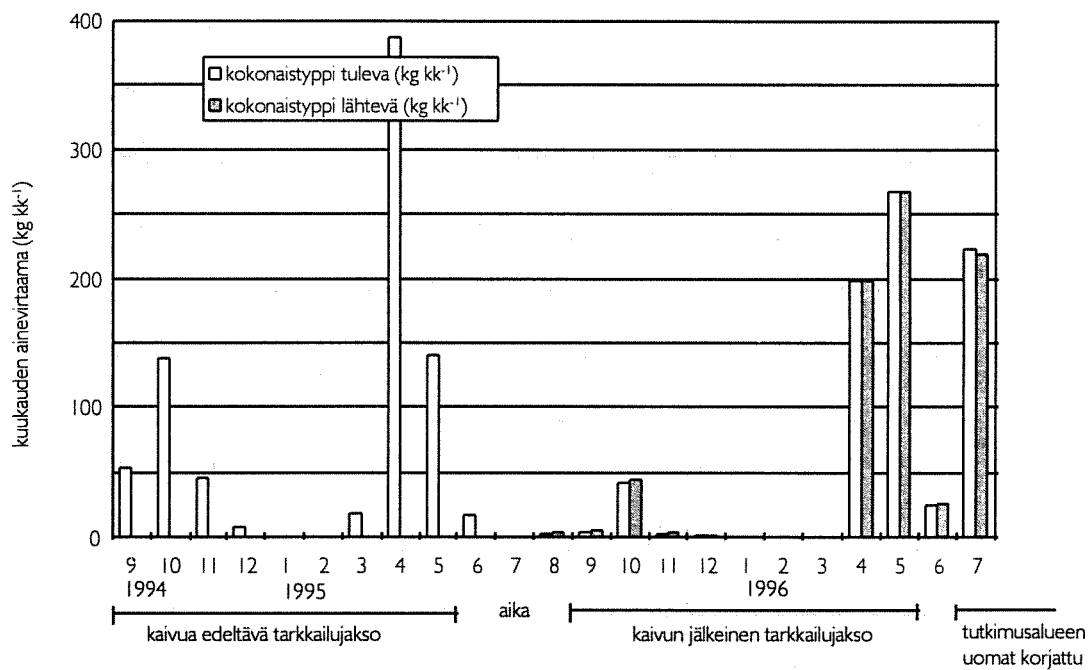
5.1.3. Ravinteet

Ravinteiden osalta kaivun vaikutukset jäivät pienemmiksi kuin kiintoaineen suhteen. Yläasemalla havaitut pitoisuudet ovat olleet samaa suuruusluokkaa kaivua edeltävän jakson pitoisuuksiin verrattuna. Syyskuun 1995 ja toukokuun 1996 välisellä tarkkailujaksolla kokonaistypen keskimääräinen pitoisuus oli 1,2 -kertainen, ammoniumtypen 4 -kertainen, nitraatti- ja nitriittitypen 1,7 -kertainen, kokonaisfosforin 1,5 -kertainen ja fosfaattifosforin 0,8 -kertainen verrattuna kaivua edeltävän tarkkailujakson pitoisuuksiin. Kaivun jälkeinen ainevirtaama oli kokonaistypen osalta 0,7 -kertainen, ammoniumtypen osalta 0,6 -kertainen, nitraatti- ja nitriittitypen osalta 0,8 -kertainen, kokonaisfosforin osalta yhtä suuri ja fosfaattifosforin osalta 0,4 -kertainen verrattuna kaivua edeltävän jakson aikaisiin ainevirtaamiin. Kokonaistypen, nitraatti- ja nitriittitypen sekä ammoniumtypen kuukausittaiset pitoisuudet ja ainevirtaamat on esitetty kuvissa 8 - 13. Kokonaisfosforin ja fosfaattifosforin kuukausittaiset pitoisuudet ja ainevirtaamat on esitetty kuvissa 14 - 17.

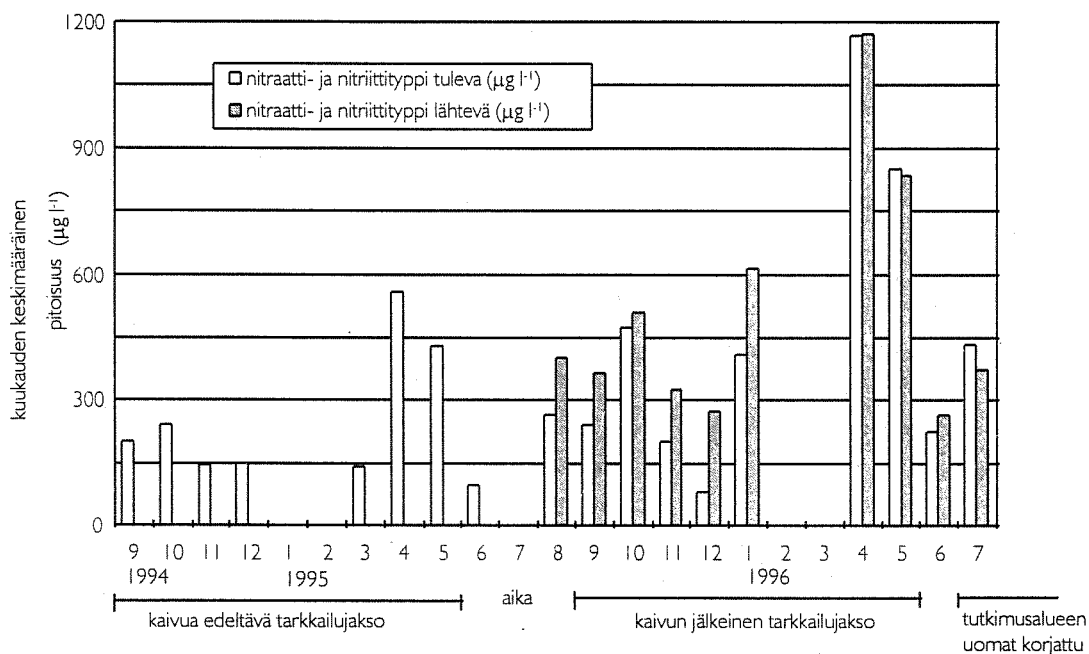
Kaivua edeltäneen tarkkailujakson aikana syyskuusta 1995 toukokuuhun 1996 yläaseman ohi kulkeutui noin 43 kg kokonaisfosforia, ja vastaavana ajanjaksona kaivun jälkeen kokonaisfosforia kulkeutui valuma-alueelta noin 45 kg. Kesäkuussa 1996 otettujen sedimenttinäytteiden kokonaisfosforipitoisuudet olivat Tuusulalla keskimäärin $n.0,4 \text{ mg g}^{-1}$. Kokonaisfosforia on pidättynyt altaaseen, mutta altaan tulo- ja lähtöomien sortumien vuoksi poistuman suuruutta ei voida laskea.



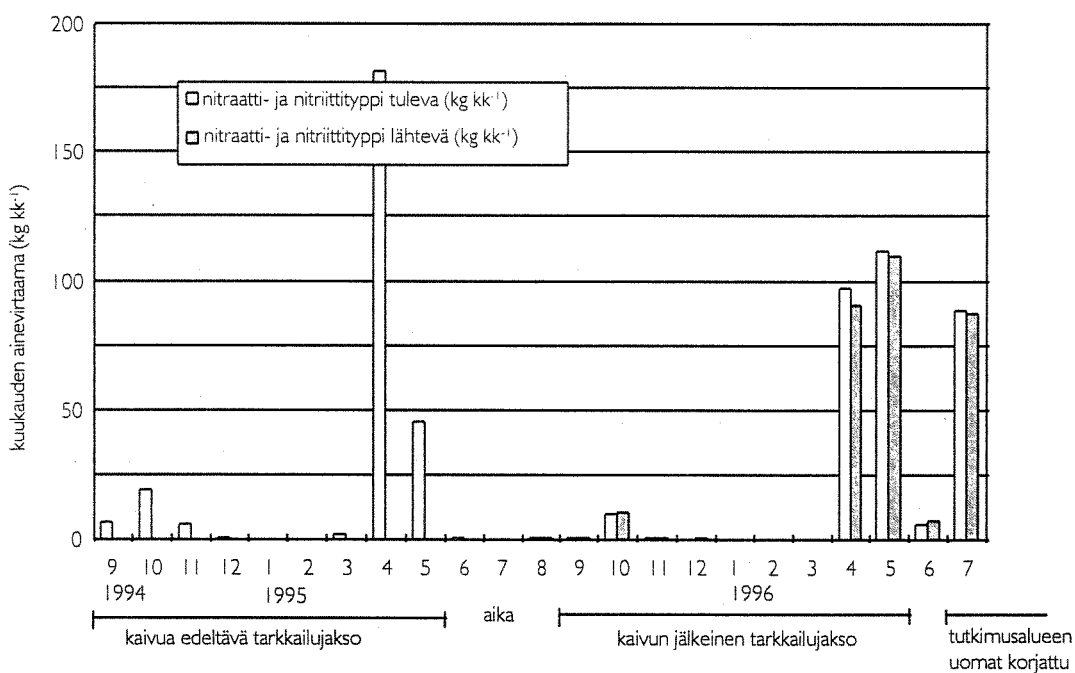
Kuva 8. Kokonaistyyppien kuukausittaiset pitoisuudet Tuijanpurolalla



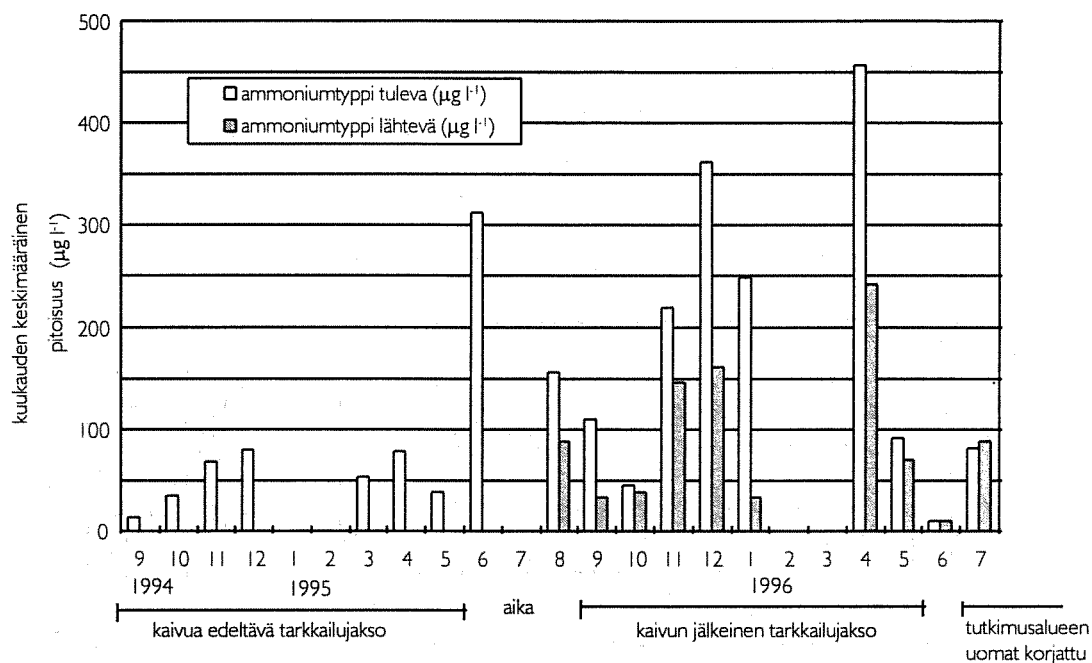
Kuva 9. Kokonaistyyppien kuukausittaiset ainevirtaamat Tuijanpurolalla



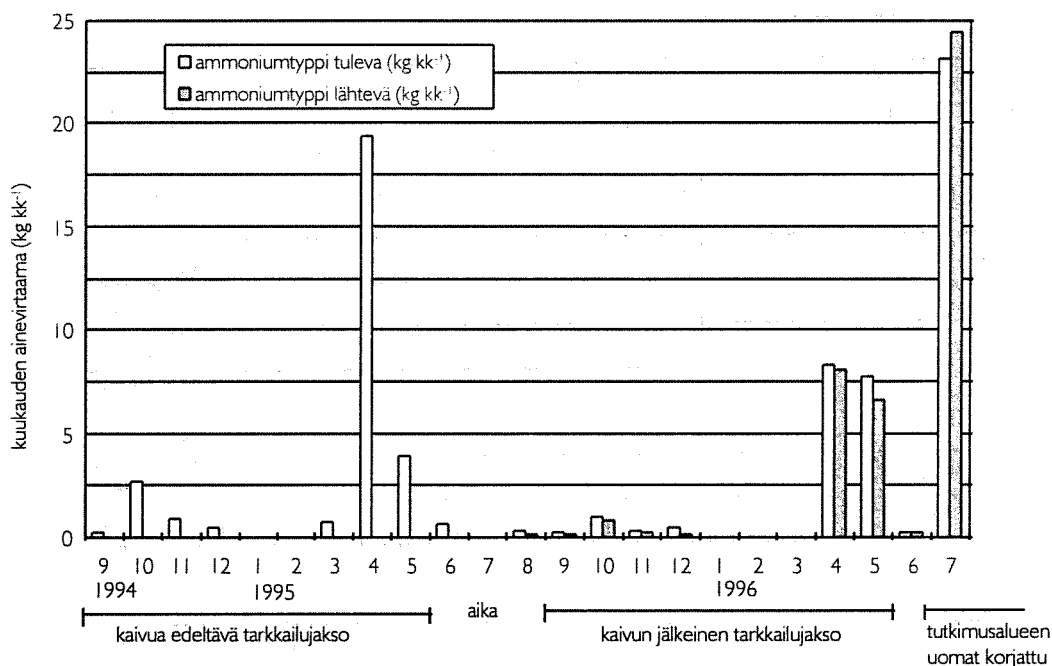
Kuva 10. Nitraatti- ja nitriittityypin kuukausittaiset pitoisuudet Tuijanpurolalla



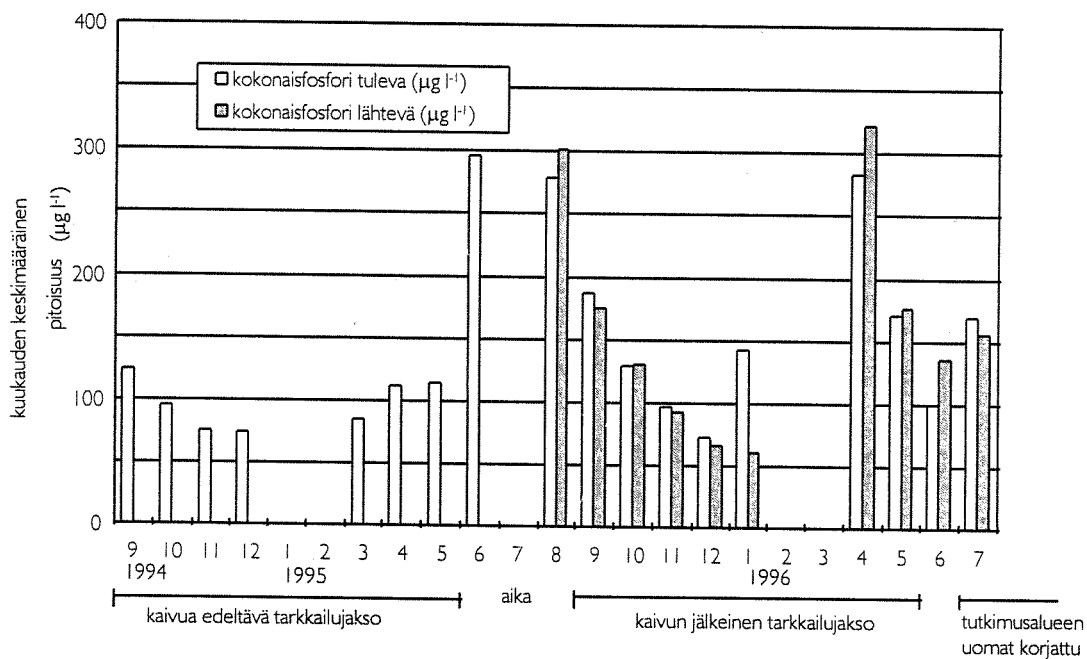
Kuva 11. Nitraatti- ja nitriittityypin kuukausittaiset ainevirtaamat Tuijanpurolalla



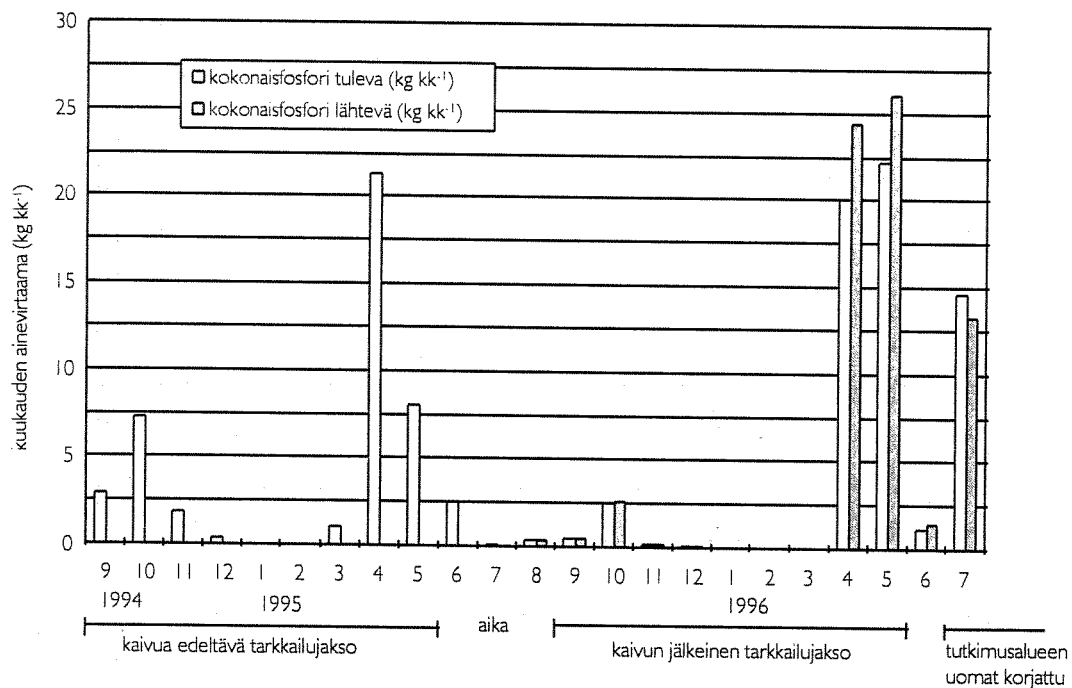
Kuva 12. Ammoniumtyypen kuukausittaiset pitoisuudet Tuijanpurolla



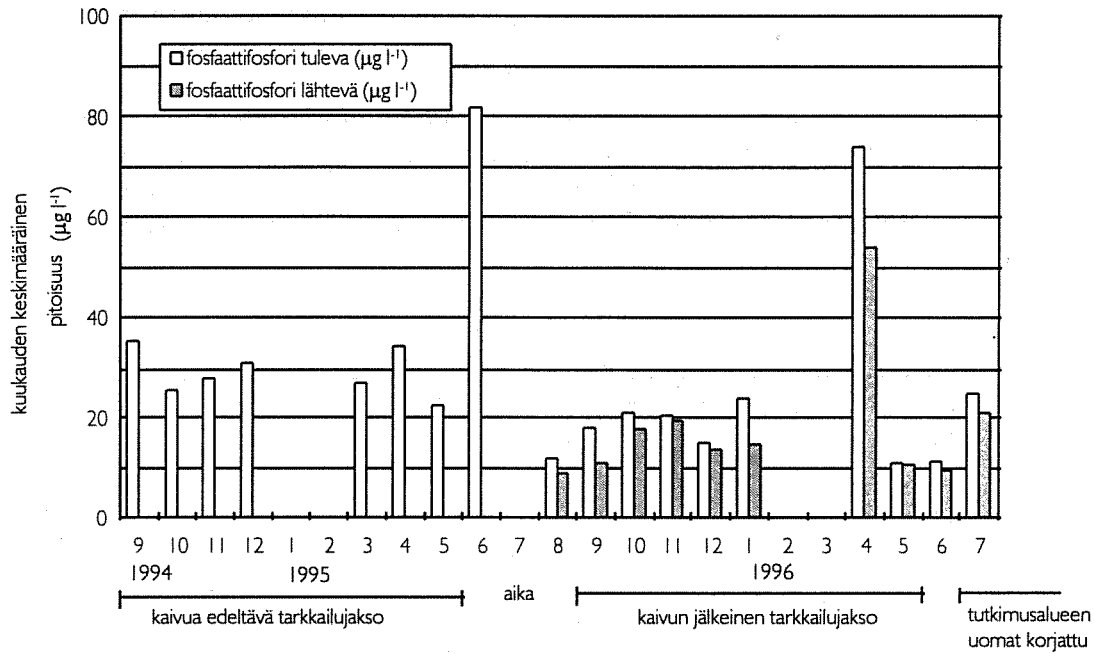
Kuva 13. Ammoniumtyypen kuukausittaiset ainevirtaamat Tuijanpurolla



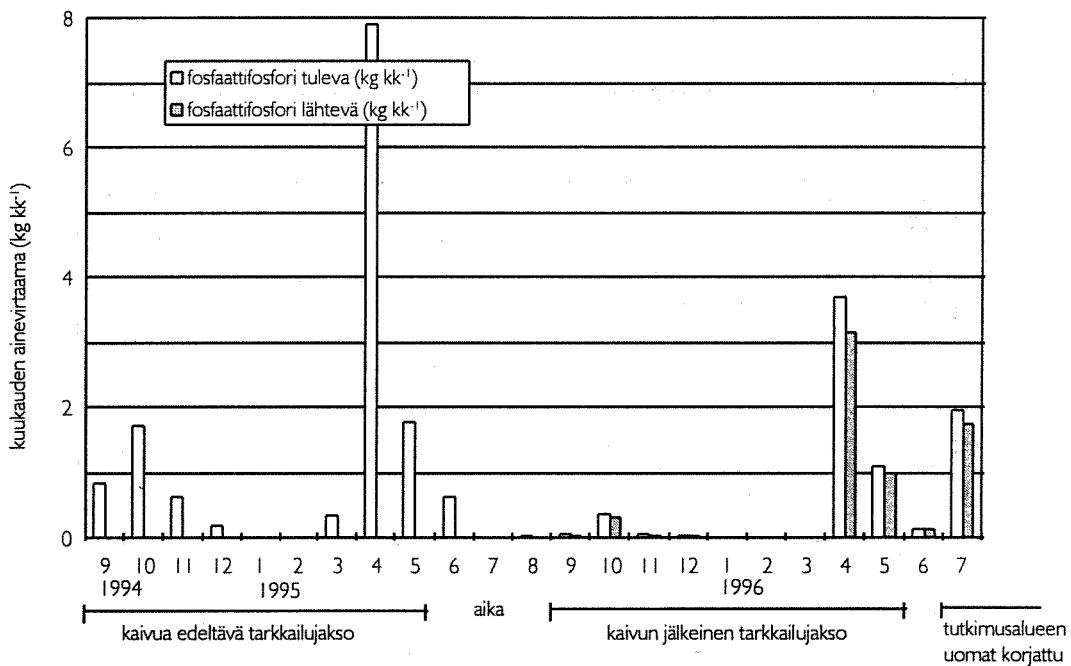
Kuva 14. Kokonaisfosforin kuukausittaiset pitoisuudet Tuijpurolla



Kuva 15. Kokonaisfosforin kuukausittaiset ainevirtaamat Tuijpurolla

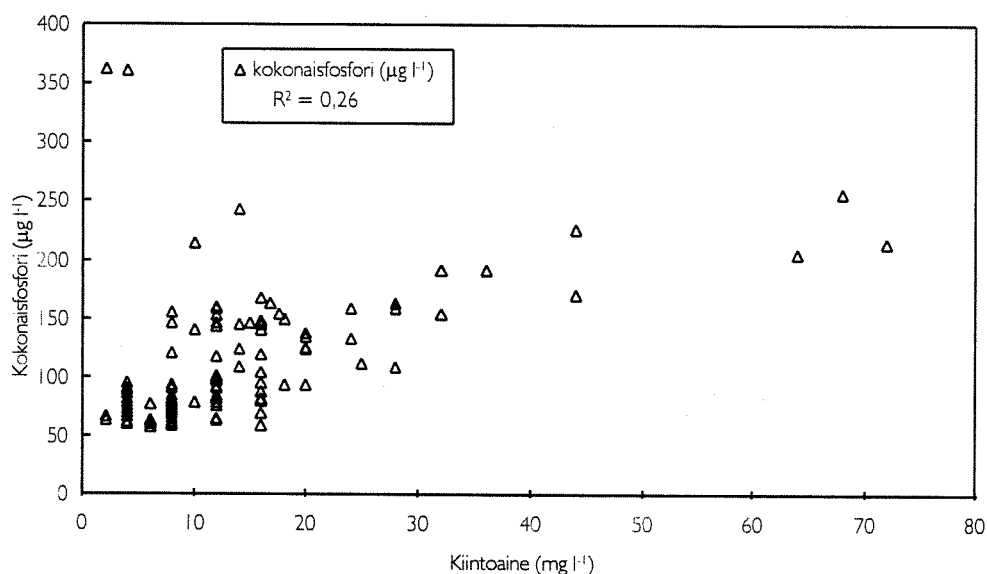


Kuva 16. Fosfaattifosforin kuukausittaiset pitoisuudet Tuijanpurolla

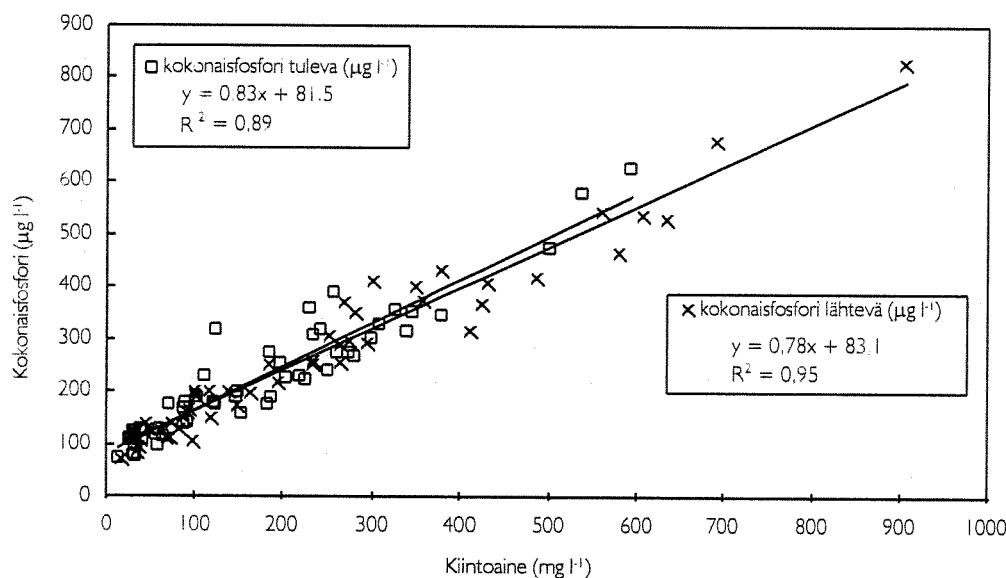


Kuva 17. Fosfaattifosforin kuukausittaiset ainevirtaamat Tuijanpurolla

Kaivua edeltäneen tarkkailujakson kokonaisfosforipitoisuuden riippuvuus kiintoainepitoisuudesta on esitetty kuvassa 18. Selvää kiintoaineen ja kokonaisfosforin korrelaatiota ei ollut ($r^2=0,26$), vaikka lievä positiivinen suuntaus piste-ryhmästä onkin nähtävissä. Kokonaisfosforipitoisuuden riippuvuus kiintoainepitoisuudesta kasvoi kaivun jälkeen. Kaivun jälkeisen syksyn ja kevään kokonaisfosforipitoisuuden riippuvuus kiintoainepitoisuudesta on esitetty kuvassa 19. Korrelaatio oli korkea sekä yläasemalla ($r^2=0,89$), että ala-asemalla ($r^2=0,95$). Korrelaation kasvu karkean kiintoaineen poistuessa vedestä viittaa fosforin olevan sitoutunut enimmäkseen altaan läpi kulkeutuneeseen hienoon kiintoaineseen.



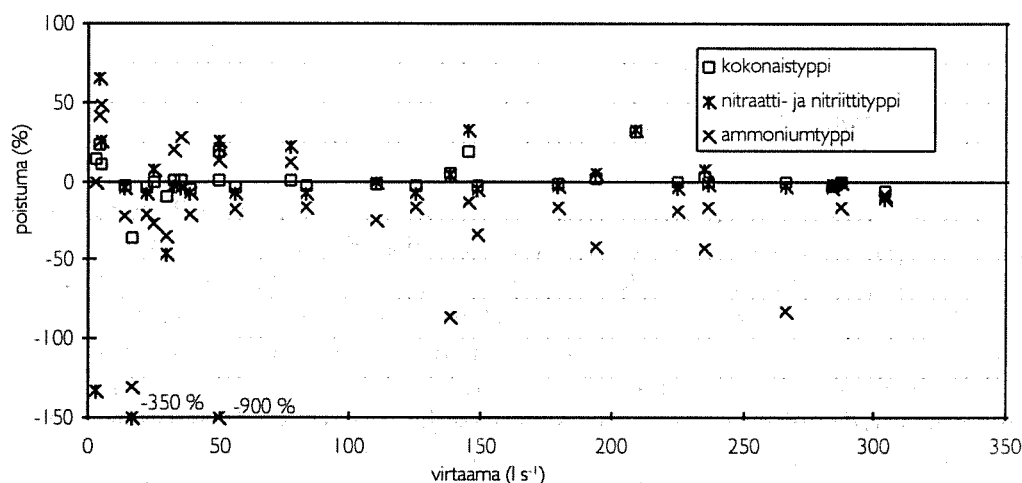
Kuva 18. Kokonaisfosforipitoisuus kiintoainepitoisuuden suhteen Tuijampurolle ennen kaivua



Kuva 19. Kokonaisfosforipitoisuus kiintoainepitoisuuden suhteen Tuijampurolle kaivun jälkeen

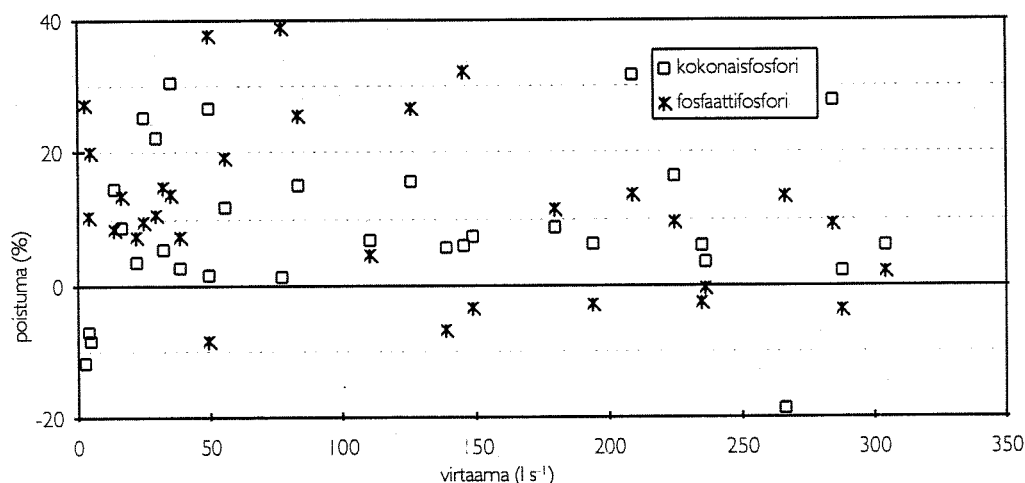
Syyskuun 1995 ja toukokuun 1996 välisellä tarkkailujaksolla altaalla oli lievää positiivista vaikutusta kokonaisfosforin lisäksi fosfaattifosforin ja ammoniumtyypen pitoisuuksiin, samalla kun nitraatti- ja nitriittitypen sekä kokonaistypen määrä altaassa lisääntyi. Ravinnesuhteiden muutokset ovat olleet joka tapauksessa kokonaiskuormituksen kannalta marginaalisia.

Heinäkuussa 1996 otettujen vesinäytteiden perusteella lasketut kokonaistypen, nitraatti- ja nitriittitypen sekä ammoniumtyypen poistumat on esitetty virtaaman suhteen kuvassa 20. Virtaaman suuruus ei ole merkittävästi vaikuttanut typen suhteellisten poistumien suuruuteen. Kokonaistypen pitoisuudet eivät ole merkittävästi muuttuneet altaassa, eikä allas ole yleensä vaikuttanut myöskään nitraatti- ja nitriittitypen pitoisuuksiin. Ammoniumtyyppiä altaassa on vapautunut poistumien perusteella käytännössä jatkuvasti. Vaikka ammoniumtyypen pitoisuus on saattanut tilapäisesti moninkertaistua pienillä virtaamilla, kokonaisainevirtaama on lisääntynyt altaassa vain noin 6 %. Ammoniumtyypen heinäkuuisesta ainevirtaamasta noin 85 % syntyi yhden maksimipäivän aikana, joten kokonaispoistuma määräytyy kyseisen päivän poistuman perusteella.



Kuva 20. Kokonaistypen, nitraatti- ja nitriittitypen sekä ammoniumtyypen poistumat virtaaman suhteen Tuijanpurolla heinäkuussa 1996

Kokonaisfosforin ja fosfaattifosforin poistumat virtaaman suhteen heinäkuussa 1996 on esitetty kuvassa 21. Altaalla on ollut pientä positiivista vaikutusta sekä kokonais- että fosfaattifosforipitoisuuksiin, eikä virtaaman suuruudella näytä olevan vaikutusta suhteellisen poistuman suuruuteen. Altaaseen tulleesta kokonaisfosforista pidättyi heinäkuussa noin 10 % ja fosfaattifosforista noin 11 %.



Kuva 21. Kokonaisfosforin ja fosfaattifosforin poistumat virtaaman suhteen Tuijanpurolla heinäkuussa 1996

5.1.4. Sortumat

Tuijanpuron uomassa syntyi juoksu- ja liukusortumia pahimpiin paikkoihin jo muutaman päivän päästä uoman kaivusta. Sortumisherkkyys on ollut merkittävintä alueilla, joissa maalaji on ollut savista silttiä (saSi) tai siltistä hiekkamorea (siHkMr). Sortumisherkkyttä on lisännyt alueella paikoin esiintyvä paineellinen pohjavesi. Myös alueella olevan liejuron läpi kulkevan uomanosan kaivun yhteydessä törmättiin kaivuongelmiin. Tietyn kaivussyvyyden jälkeen liejuron pohja nousi hydraulisen murtuman myötä ylös. Jälkikäteen voidaan sanoa, että kaivusuunnitelmassa oli käytetty olosuhteisiin nähden liian jyrkkiä luiskankaltevuuksia mineraalimailla, eikä liejuron kaivuongelmiin oltu varauduttu. Osittain luiskia loivennettiin suunnitelman mukaisista, mutta siitä huolimatta uomassa syntyi paljon juoksu- ja liukusortumia.

Uoman pahimmin sortunut kohta on padottanut vettä uomaan valuma-alueen puolivälissä liejuron kohdalla. Erityisesti pienillä virtaamilla uoma on toiminnut pitkänomaisena laskeutusaltaana ennen varsinaista laskeutusallasta. Tämä on voinut vähentää ylävaluma-alueelta ja liejukosta tutkimusaltaaseen tullutta kiintoainekuormitusta. Toisaalta padotusta aiheuttavasta sortumasta on lähtenyt veden mukaan paljon kiintoainetta.

Allasalueen sortumat ovat vaikuttaneet tutkimuksen tähänastisiin tuloksiin keskeisesti. Sortumien määrään on todennäköisesti vaikuttanut maaperän luontainen herkkyyden ohella häirityn koheesiomaan käyttö poistouoman luiskia muotoiltaessa. Vaikka maaperän ongelmallisuus oli yleisesti tiedossa, oletettiin sortumien suuruusluokan olevan oleellisesti pienempi.

Sortumat ovat vaikeuttaneet tutkimusta, mutta samalla ne kuvaavat sisäsuomalaiselle maaperälle tyypillisiä ominaisuuksia. Tuijanpuron valuma-alue on käytännöllisesti katsoen täysin kasvillisuuden peittämä ympäri vuoden. Tämän vuoksi valuma-alueelta liikkeelle lähtevän kiintoaineen määrä ja laatu on sellaista, ettei sitä voida poistaa vedestä pelkästään altaalla. Uoman sortumista liikkeelle lähtenyt materiaali sisältää paljon myös karkeaa materiaalia, jonka poistoon allas soveltuu hyvin.

5.2. Luomannevanaja

5.2.1. Hydrologia

Luomannevanajan valuma-alue on noin 1,1 km². Alueelle on tyypillistä virtaamien voimakas vuodenaikaisvaihtelu ja riippuvuus sateista. Keskivirtaamaksi alueella on arvioitu 8 l s⁻¹ km⁻². Kerran 20 vuodessa tapahtuvaksi ylivirtaamaksi (HQ_{1/20}) on arvioitu 300 l s⁻¹ ja alivirtaamaksi 0 l s⁻¹.

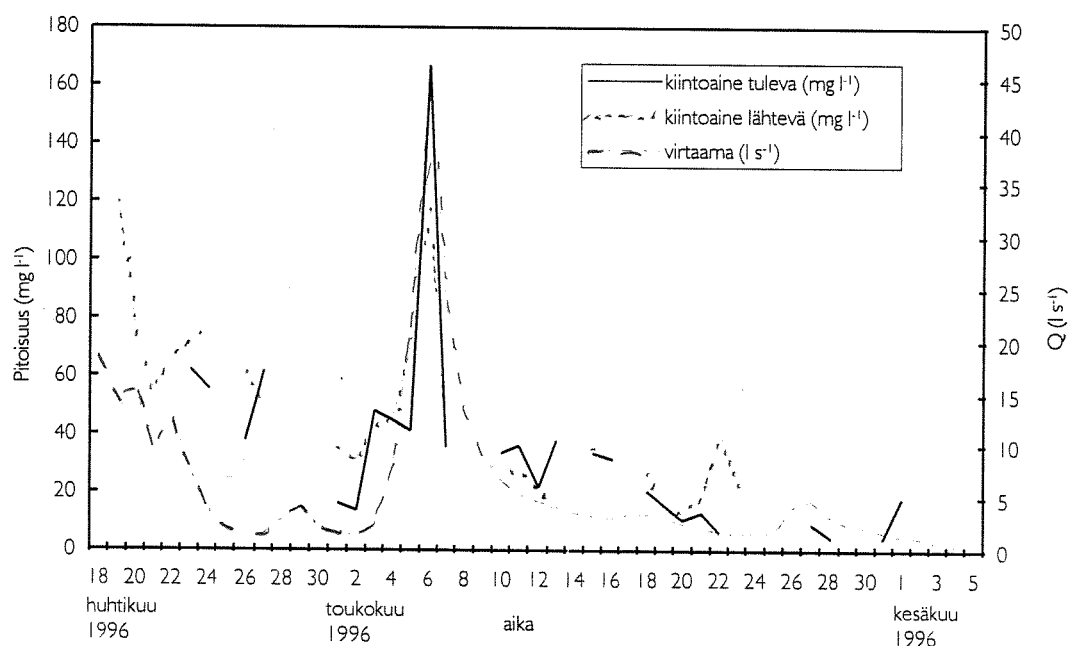
Luomannevanajan tutkimusjärjestelyt saatiin kuntoon keväällä 1995, joten kaivua edeltävä tarkkailujakso jäi lyhyeksi. Luotettavia virtaamahavaintoja on esitettävissä ainoastaan keväältä ja kesältä 1996, kun suurin tulvahuippu oli jo ohi, joten hydrologisia suureita ei voida esittää.

5.2.2. Kiintoaine

Ennen kaivua Luomannevan ojusta otettiin muutamia vesinäytteitä keväällä 1995. Niiden kiintoainepitoisuus vaihteli välillä 2 - 100 mg l⁻¹. Kaivun vaikutukset Luomannevanajalla jäivät havaittujen kiintoainepitoisuuksien perusteella pienemmiksi kuin Tuijanpurolla. Kaivun jälkeisen tarkkailujakson (18.4.1996 - 5.6.1996) päivittäiset virtaamat ja kiintoainepitoisuudet on esitetty kuvassa 22. Veden päivittäinen kiintoainepitoisuus vaihteli tarkkailujakson aikana välillä 5 - 170 mg l⁻¹ ollen keskimäärin 35 mg l⁻¹. Korkein yksittäinen havaittu pitoisuus oli 270 mg l⁻¹. Kiintoainepitoisuuden huippu sattui jakson suurimman virtaaman aikaan, jolloin päivän keskivirtaama oli noin 46 l s⁻¹. Ala-aseman päivittäinen kiintoainepitoisuus vaihteli välillä 13 - 120 mg l⁻¹ ollen keskimäärin 45 mg l⁻¹. Vaikka keskimääräinen pitoisuus ala-asemalla oli suurempi kuin yläasemalla, on altaaseen todennäköisesti sedimentoitunut kiintoainetta, sillä suurimman virtaaman aikaan ala-aseman pitoisuus oli noin 30 prosenttia pienempi kuin yläasemalla. Ainevirtaamasta suurin osa syntyy suurimpien virtaamien aikaan.

Tarkkailujakso ajoittui suurimman kevättulvapiikin jälkeiseen aikaan, joten tarkkaa arviota altaan vaikutuksista ei vielä voida esittää. Sedimentaatiota on todennäköisesti tapahtunut pienessä mittakaavassa koko ajan, sillä allasalueella syntyi keväällä 1996 lieviä sortumia, jotka ovat voineet vaikuttaa vesianalyyseistä saatuihin tuloksiin. Myös altaassa syntyi keväällä lieviä sortumia, jotka ovat voineet vaikuttaa puhdistustulokseen heikentävästi. Altaan yläaseman vesinäytteet otetaan kohdasta, jossa veden virtausnopeus on jo hidastunut ja hiukkasten laskeutuminen alkanut (liite 4). Karkein kiintoaine laskeutuu osittain jo ennen näytteenottopistettä, minkä vuoksi pohjaryömintänä kulkeutuva kiintoaine ei välttämättä näy yläaseman vesinäytteissä.

Altaaseen sedimentoituneen materiaalin määrä jäi keväällä 1996 pieneksi. Elokuussa 1996 altaan pohjalle oli sedimentoitunut kiintoainetta vain alle puolen sentin paksuinen kerros. Sedimentin rakeisuusmääritysten perusteella laskettu sedimentin keskimääräinen rakeisuus on esitetty taulukossa 9.



Kuva 22. Päivittäiset virtaamat ja kiintoainepitoisuudet Luomannevanajalla

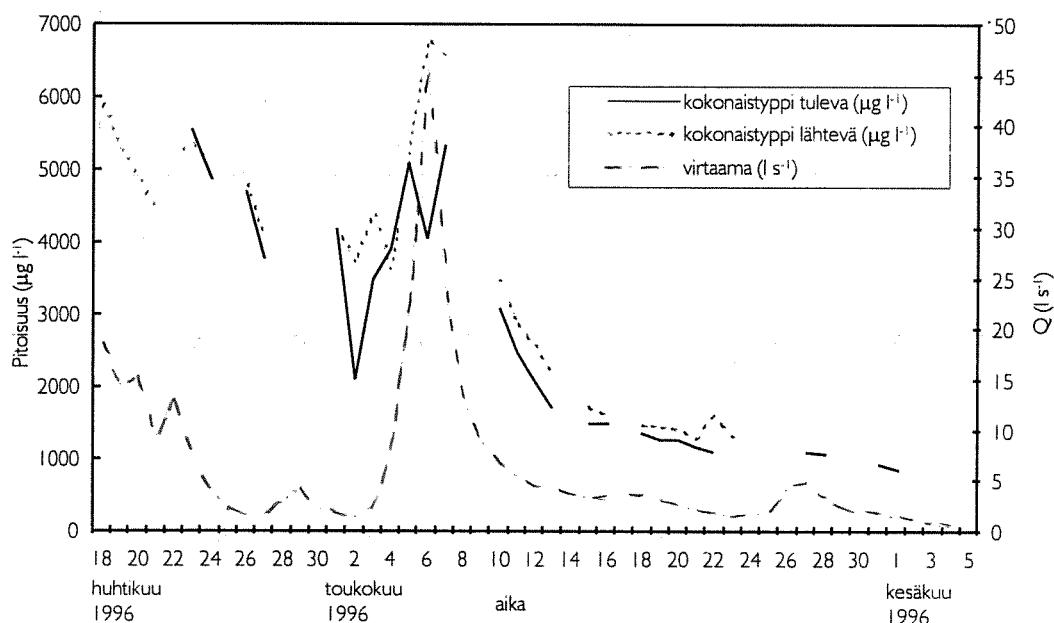
Taulukko 9. Luomannevanojan altaan sedimentin keskimääräinen maalajikoostumus rakennusteknisen luokituksen mukaisesti.

Maalaji	Raekoko (mm)	Keskimääräinen osuus (%)
Sa	<0,002	36
Hs	0,002-0,02	62
Ht	0,02-0,2	2
Hk	0,2-2	0

Hietaa ($0,02 < D < 0,2 \text{ mm}$) ja sitä karkeampia materiaaleja ei käytännössä esiintynyt sedimentissä. Sedimentin rakeisuus ei oleellisesti poikennut keskimääräisestä altaan ala- tai yläpäässä. Sedimentti on erittäin hienoa, mikä johtuu valuma-alueen hienosta maalajista. Uoman kahdesta poikkileikkauksesta tehtiin maalajimääryksiä pintamaasta, ojan luiskan puolivälistä ja uoman pohjamaasta. Määritysten perusteella alueen pohjamaalajitteista 40 - 70 % on savea, 20 - 50 % hiesua ja alle 10 % hiesua karkeampia maalajitteita. Pintamaa sisälsi savipartikkeleita 15 - 30 %, hiesua 50 %, sekä hietaa ja hiekkaa 20 - 35 %. Orgaanisen aineen määrä kasvoi pintaa kohti. Alueen maaperä sisältää myös karkeita maalajitteita, mutta niitä ei ole kulkeutunut altaaseen.

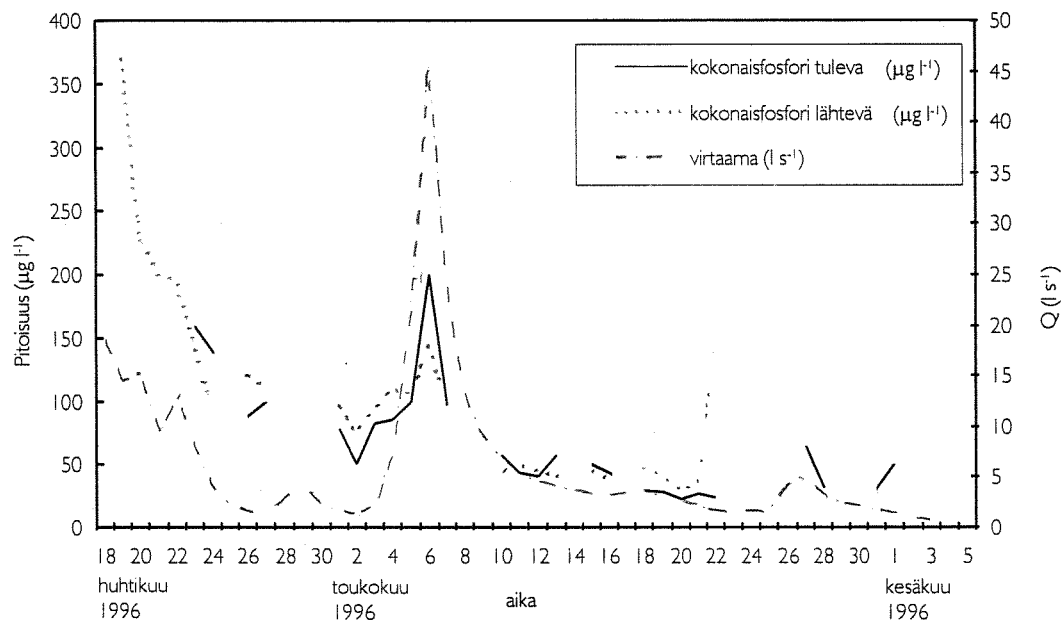
5.2.3. Ravinteet

Virtaama ja kokonaistyyppipitoisuus aikavälillä 18.4. - 5.6.1996 on esitetty kuvassa 23. Vesinäytteiden kokonaistyyppipitoisuus yläasemalla vaihteli tarkkailujakson aikana välillä 770 - 5 550 $\mu\text{g l}^{-1}$, ollen keskimäärin 2 730 $\mu\text{g l}^{-1}$. Ala-aseman kokonaistyyppipitoisuus vaihteli välillä 1 090 - 6 800 $\mu\text{g l}^{-1}$ ollen keskimäärin 3 300 $\mu\text{g l}^{-1}$. Kokonaistyyppiä on vapautunut alueelta jatkuvasti.



Kuva 23. Päivittäiset virtaamat ja kokonaistyyppipitoisuudet Luomannevanojalla

Virtaama ja kokonaisfosforipitoisuus on esitetty kuvassa 24. Yläaseman Kokonaisfosforipitoisuudet vaihtelivat 18.4.1996 - 5.6.1996 aikana välillä 20 - 320 $\mu\text{g l}^{-1}$, ollen keskimäärin 80 $\mu\text{g l}^{-1}$. Ala-aseman pitoisuudet olivat samana aikana 30 - 370 $\mu\text{g l}^{-1}$, ollen keskimäärin 100 $\mu\text{g l}^{-1}$. Kokonaisfosforia on poistunut kiintoaineen mukana suurimman virtaaman aikana, mutta muuten ala-aseman pitoisuudet ovat olleet pääsääntöisesti korkeampia kuin yläaseman pitoisuudet. Kokonaisfosforin korrelaatio kiintoaineen suhteen oli keväisen aineiston perusteella vain lievä (Yläasemalla $r^2 = 0,51$ ja ala-asemalla $r^2 = 0,48$).



Kuva 24. Päivittäiset virtaamat ja kokonaisfosforipitoisuudet Luomannevanojalla

Johtopäätökset

Tuijanpuron ja Luomannevanon laskeutusaltailla on tavoiteltu vesiensuojelullista hyötyä erityisesti peruskuivatushankkeista aiheutuvan kiintoaine- ja kokonaisfosforikuormituksen vähentäjänä. Tuijanpurolla kaivun jälkeinen kiintoainekuorma on ollut merkittävästi suurempi kuin kaivua edeltäneen tarkkailujakson aikainen kuorma, vaikka kaivua edeltäneen tarkkailujakson aikaiset olot olivat keskimääräistä sateisemmat ja kaivun jälkeisen tarkkailujakson olosuhteet olivat keskimääräistä kuivemmat. Eräänä syynä kuormituksen kasvuun ovat olleet uomien sortumat. Luomannevanon pitoisuushavaintojen perusteella uoman kaivun vaikutukset eivät olleet yhtä merkittäviä kuin Tuijanpurolla.

Altaan tehokkuus kiintoaineen poistajana riippuu oleellisesti siihen tulevan kiintoaineen karkeudesta. Vajaan vuoden tarkkailun perusteella voidaan arvioida, että Tuijanpuron altaan toimintakyky on rajoittunut pitkälti uoman pohjalla kulkeutuvan karkean materiaalin poistoon. Altaiden tähänastista toimintaa ei olla kummassakaan tutkimuksessa pystytty luotettavasti toteamaan pelkästään virtaama- ja pitoisuushavaintojen perusteella. Ainetasetarkastelun perusteella Tuijanpuron altaan pidätyskyky oli kiintoaineen suhteen noin 60 %. Altaaseen pidättynyt kiintoaine on pääasiassa hietaa, joka on lähtenyt liikkeelle altaan tulouomasta. Altaaseen on sedimentoitunut myös hieman hiesua ja savea. Veteen sekoittuneen kiintoaineen laskeutumisnopeusjakauman perusteella yläaseman ohi virtaavaan veteen sekoittuneen kiintoaineen poistotehokkuus jää teoreettisestikin alle 20 %:n. Tulos on ainoastaan kertaluontoinen esimerkki, mutta antaa kuvan siitä, millainen veteen sekoittuneen materiaalin laskeutustehokkuus voi maksimissaan olla tämänkaltaisten alueiden valumavesillä.

Ravinteiden osalta lievää hyötyä on todennäköisesti saavutettu kokonaisfosforin vähentymisenä, vaikka täyttä varmuutta poistumista ei olekaan. Kokonaisfosforia on poistunut lähinnä sedimentoituneen kiintoaineen mukana. Syksyn 1995 ja kevään 1996 tulosten mukaan kokonaisfosfori korreloi Tuijanpurolla erittäin hyvin ja Luomannevanojalla lievästi kiintoaineen kanssa. Tuijanpurolla on todettu myös lievää fosfaattifosforin poistumista. Fosfaattifosforia on todennäköisesti sitoutunut kiintoaineen pinnalle, ja osa on näin sedimentoitunut altaaseen. Veden typpipitoisuuteen allas ei ole vaikuttanut merkittävästi.

Altaista ei ole ollut merkittävää hyötyä vesistön kannalta. Tuijanpuron altaaseen pysähtynyt kiintoaine olisi joka tapauksessa suurimmaksi osaksi pidättynyt ennen vesistöön kulkeutumistaan. Altaan suurin merkitys on nimenomaan alapuoleisten uomien ja uoman vesistöön laskukohdan madaltumista ehkäisevänä rakenteena. Altaan yläpuoleisen uoman sortumisen ja eroosion ollessa merkittävää saadaan altaaseen pidättymään materiaali joka muuten laskeutuisi alapuolisen uoman suvantokohtiin. Ainakin Tuijanpuron tapauksessa alapuoleisten ojien kunnostusojituksen tarve vähenee. Näin saavutetaan säästöjä uoman kunnossapitokustannuksissa.

Kunnostusojitustarpeen vähenemisellä on myös vesiensuojelullista arvoa, koska kunnossapitotyöt voivat aiheuttaa paikallisia haittoja. Peruskuivatushankkeen vaikutuksesta vesistöön kulkeutuu paljon hienoa kiintoainetta, joka järven

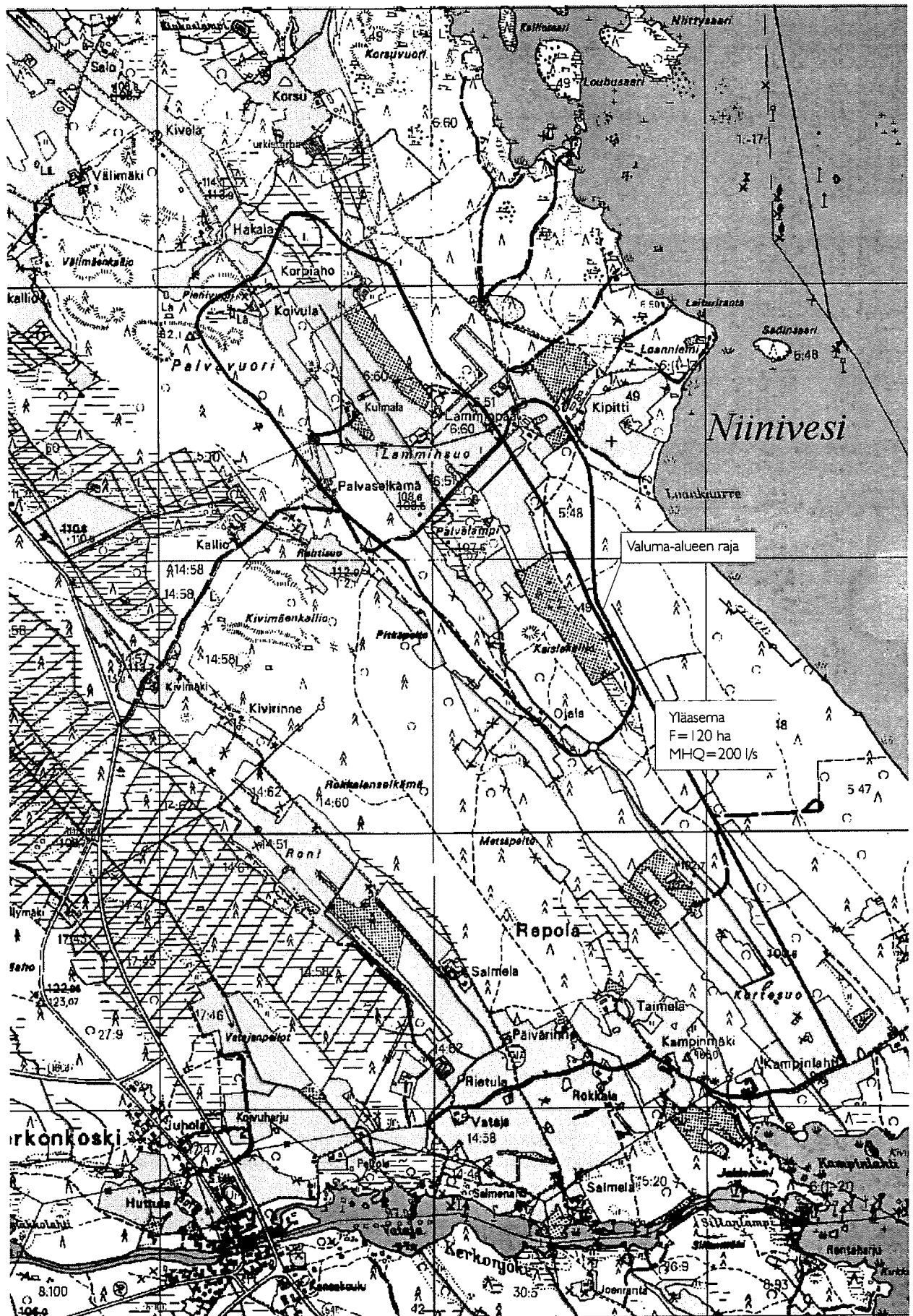
pohjalle sedimentoituaessaan vaikuttaa ainakin väliaikaisesti pohjaeliöstöön ja pohjakasvillisuuteen. Näiden merkitys vesistön yleiskunnon kannalta on merkittävä.

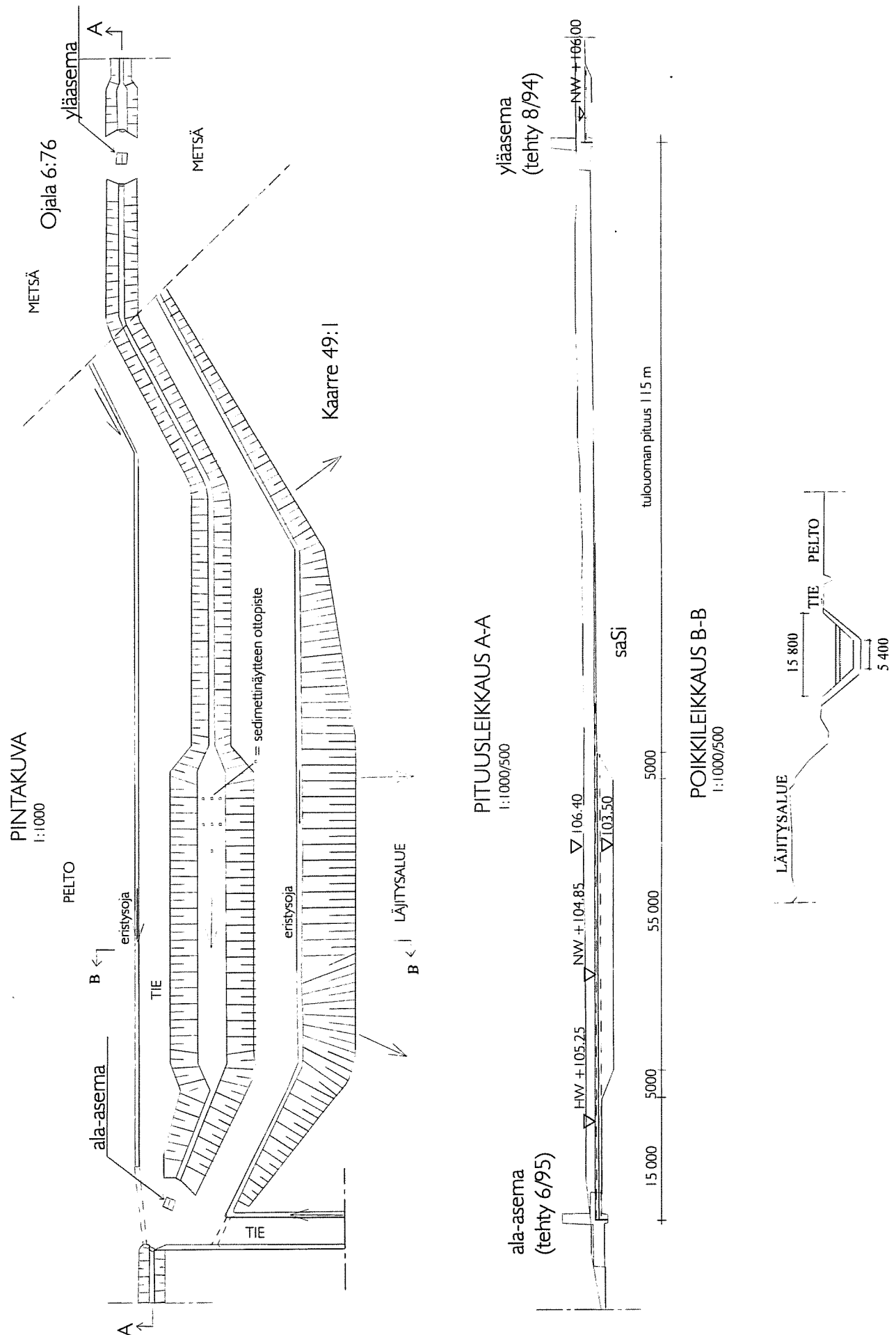
Luomannevanojan altaaseen ei ole pidättynyt merkittävästi kiintoainetta, mikä johtuu enimmäkseen laskeutumiskelpoisen materiaalin puutteesta valuma-alueella.

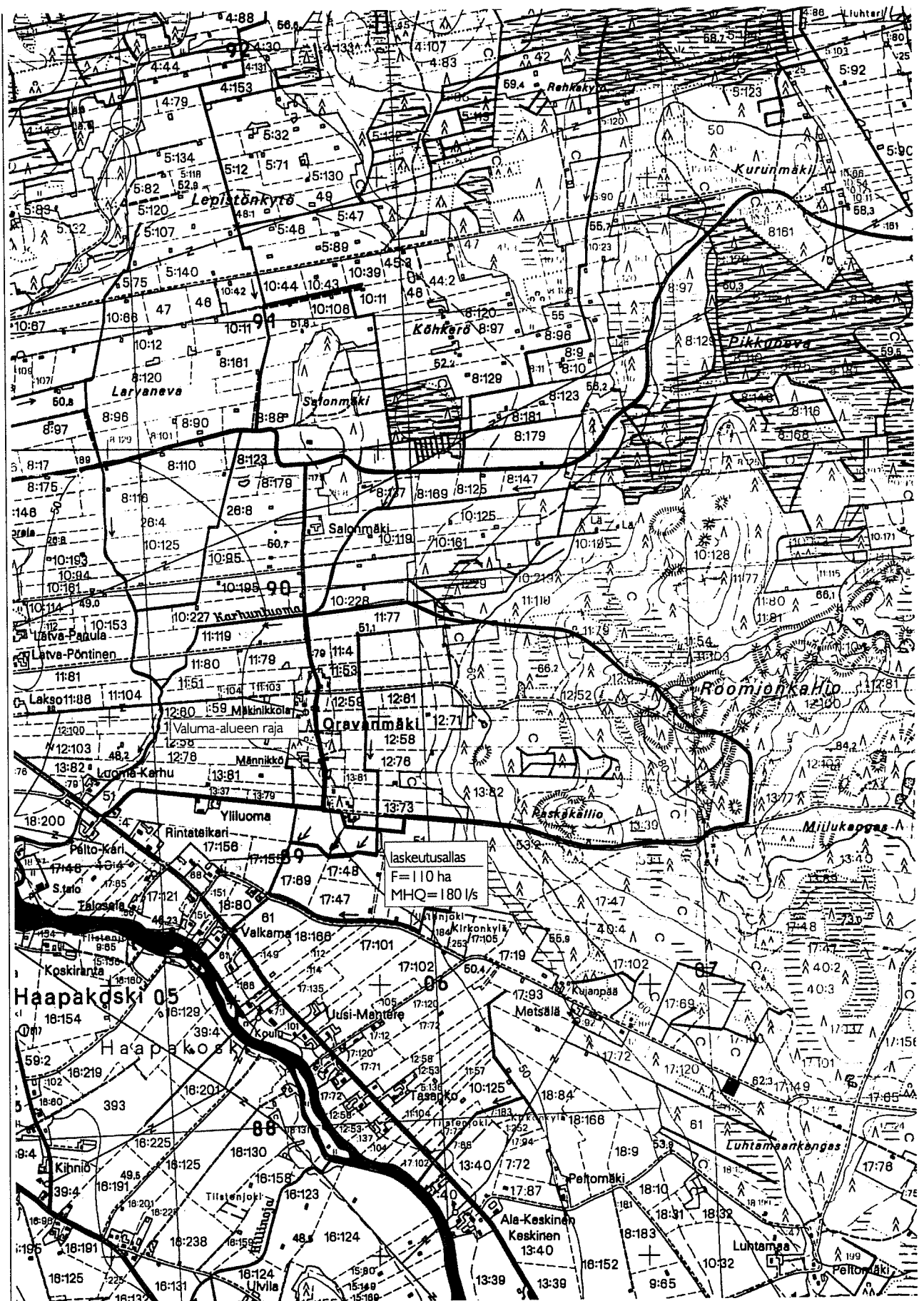
KIRJALLISUUS

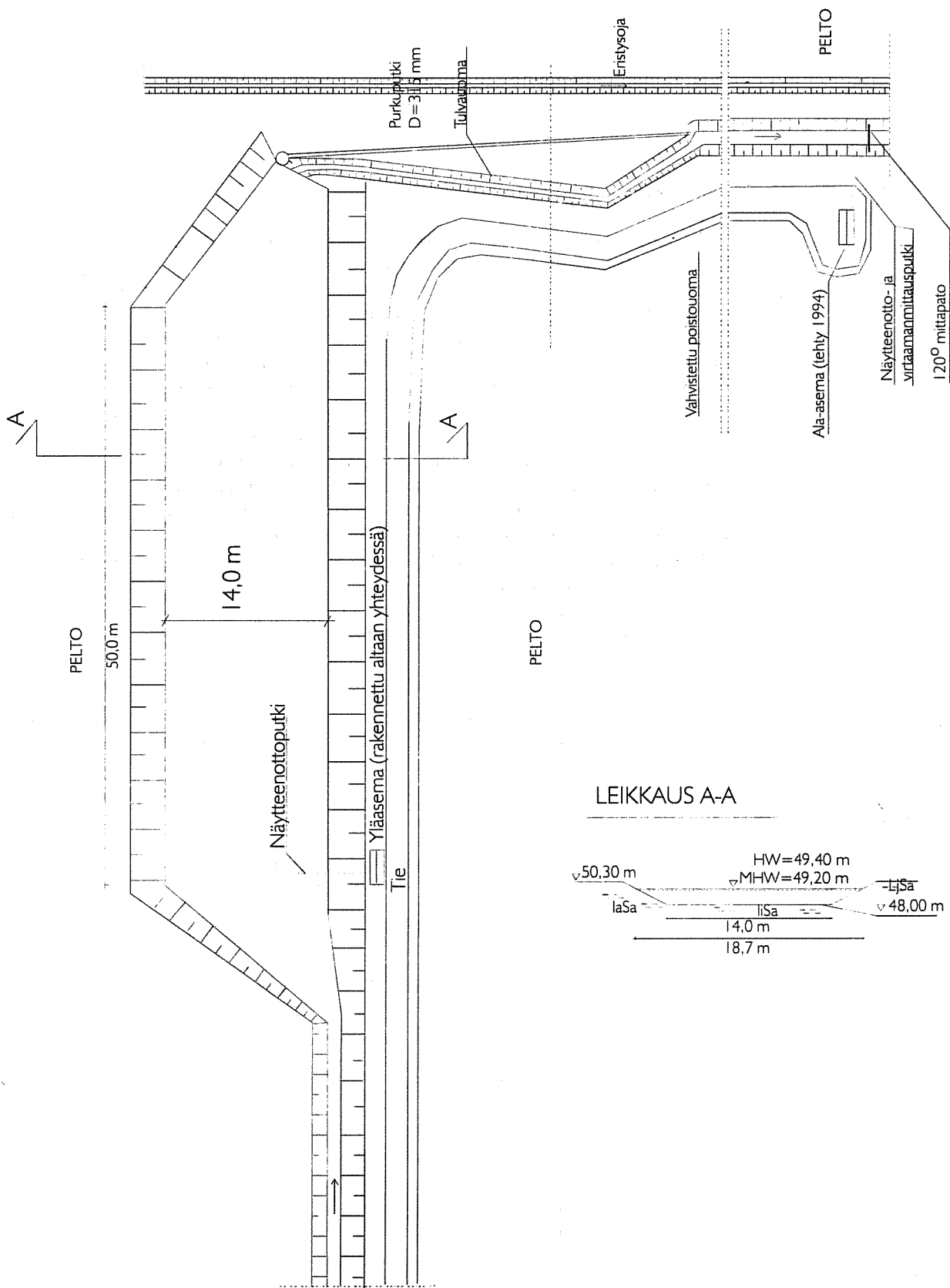
- Ahti, E.; Joensuu, S.; Vuollekoski, M. (1996): Laskeutusaltaiden vaikutus kunnostusojitusalueiden kiintoainehuuhtoumaan. Teoksessa Saukkonen S.; Kenttämies K. (toim.): Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta. METVE-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö No 2, Suomen ympäristökeskus, Helsinki, sivut 139-155.
- Aitamurto, S.; Hyvärinen, V.; Kuusisto, E.; Seuna, P. (1996): Hydrologinen yleiskatsaus 1995. Teoksessa Ferin-Westerholm, P.; Kuusisto, E.; Tahvanainen, P. (toim.): Ympäristökatsaus No 2, Pintavedet. Suomen ympäristökeskus, Helsinki, sivut 3-8.
- Bondurant, J.A.; Brockway, C.E.; Brown, M.J. (1975): Some aspects of sedimentation pond design. National symposium on urban hydrology and sediment control, sivut 117-121.
- Braskerud, B.C. (1995): Fangdammer som tiltak mot landbruksforurensninger III: Tilbakeholdelse av jord, fosfor og nitrogen i fangdammer. Jordforsk rapport No 9/95. Landbruksdepartement, Norges forskningsråd, Norge. 52 sivua.
- Brown, M.J.; Bondurant, J.A.; Brockway, C.E. (1981): Ponding surface drainage water for sediment and phosphorus removal. Transactions of the ASAE Vol.25 No 6, sivut 1478-1481.
- Cordoba-Molina, J.F.; Hudgins, R. R.; Silveston, P. L. (1978): Settling in continuous sedimentation tanks. Journal of the Environmental Engineering Division Vol. 104, No EE6, sivut 1263-1275.
- Devito, K.J.; Dillon, P.J.; Lazerte, B.D. (1989): Phosphorus and nitrogen retention in five Precambrian shield wetlands. Biochemistry No 8, sivut 185-204.
- Edzwald, J.K.; Toensing, D.C.; Leung, M.C. (1976): Phosphate adsorption reactions with clay minerals. Environmental Science & Technology Vol.10 No 5, sivut 485-499.
- Edzwald, J.K.; Upchurch, J.B.; O'Melia, C.R. (1974): Coagulation in estuaries. Environmental Science & Technology Vol.8 No 1, sivut 58-63.
- Ekholm, P. (1986): Fosforin käyttäytyminen Paimionjoessa ja Paimionlahdella. Vesihallituksen monistesarja No 405. Vesi- ja ympäristöhallitus, Helsinki. 83 sivua.
- Ekholm, P.; Kronvang, B.; Maximilian, P.; Rekolainen, S. (1995): Accuracy and precision of annual nutrient load estimates in Nordic rivers. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisu, sarja A 205. Vesi- ja ympäristöhallitus, Helsinki. 50 sivua.
- Heikkinen, K.; Ihme, R.; Lakso, E. (1994): Ravinteiden, ogaanisten aineiden ja raudan pidätymiseen johtavat prosessit pintavalutus kentällä. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisu, sarja A 193. Vesi- ja ympäristöhallitus, Helsinki. 81 sivua.
- Heino, R.; Hellsten, E. (1983): Tilastoja Suomen ilmastosta 1961-1980. Liite Suomen meteorologiseen vuosikirjaan. Nide 80 osa 1a. Ilmatieteen laitos, Helsinki.
- Heino, S.; Puustinen, M.; Maijala, T.; Latostenmaa, H. (1992): Vesistökuormituksen vähentäminen peltojen peruskuivatuksessa. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja 406. Vesi- ja ympäristöhallitus, rakennustoimisto, Helsinki. 66 sivua.
- Hirvonen, A.; Helminen, H.; Salonen, V-P. (1996): Laskeutusallas pelto-ojien fosfori- ja kiintoainekuormituksen vähentäjänä - tutkimustulokset Köyliöstä. Vesitalous No 3, sivut 2-5.
- Huisman L. (1973): Sedimentation and flotation, mechanical filtration. Delft University of Technology, Delft.
- Hyvärinen, V.; Kuusisto, E.; Perälä, J.; Reuna, M.; Seuna, P. (1995): Hydrologinen yleiskatsaus 1994. Teoksessa Ferin-Westerholm, P.; Kuusisto, E.; Tahvanainen, P. (toim.): Ympäristökatsaus No 2, Pintavedet. Suomen ympäristökeskus, Helsinki, sivut 3-8.
- Hörberg, I.; Kylefors, L. (1991): Närsaltsrening med vattenväxter - Slutrapport från snogerödsprojektet. Vatten No 47, sivut 310-314.

- Joensuu, S. (1994): Laskeutusaltaiden täyttyminen ja täyttymisnopeuteen vaikuttavat tekijät metsäojitusalueilla. Licensiaattityö. Helsingin yliopisto, Metsäekologian laitos, Helsinki. 104 sivua.
- Jääskeläinen, R.; Rantamäki, M.; Tammirinne, M. (1982): Geotekniikka. Otakustantamo, Espoo.
- Lindkvist, H. (1992): Kväve-, fosfor-, och partikkelfångande egenskaper hos en halländsk damm under ett höstflöde. Seminarier och examensarbeten Nr 16. Swedish University of Agricultural Sciences, Division of Water Management, Uppsala. 27 sivua.
- Lindkvist, H.; Håkansson, Å. (1993): Kväve-, fosfor-, och partikkelfångande egenskaper hos en halländsk damm under ett vårföde. Seminarier och examensarbeten Nr 21. Division of Water Management, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala. 21 sivua.
- Klöve, B (1994): Turvetuotannon kiintoainekuormituksen vähentäminen. Licensiaattityö, Teknillinen korkeakoulu, Rakennus- ja Maanmittaustekniikan osasto, Helsinki. 101+56 sivua.
- Miettinen, A. (1994): Maatalouden ympäristönsuojelu - toimenpiteet ja niiden kehittyminen Suomessa. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja No. 553, Vesi- ja ympäristöhallitus, Helsinki. 33 sivua.
- Niittyniemi, V. (1996): Maatalouden aiheuttaman vesistökuormituksen vähentäminen Oulujoenla. Diplomityö, Oulun yliopisto, rakentamistekniikan osasto, vesitekniikan laboratorio. 76 sivua.
- Puustinen M., Merilä E, Palko J, Seuna, P (1994): Kuivatustila, viljelykäytäntö ja vesistökuormitukseen vaikuttavat ominaisuudet Suomen pelloilla. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja, sarja A 198. Helsinki. 319 sivua.
- Reddy, K.R.; Sacco, P.D.; Graetz, D.A.; Campbell, K.L.; Sinclair, L.R. (1982): Water treatment by aquatic ecosystem: Nutrient removal by reservoirs and flooded fields. Environmental Management Vol. 6, No.3, sivut 261-271.
- Rekolainen, S.; Posch, M.; Kämäri, J.; Ekholm, P. (1991): Evaluation of the accuracy and precision of annual phosphorus load estimates from two agricultural basins in Finland. Journal of Hydrology No.128, sivut 237-255.
- Rekolainen, S.; Kauppi, L. (toim.) (1992): Maatalous- ja vesien kuormitus. Yhteistutkimusprojektin tutkimusraportit. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja No. 359. Vesi- ja ympäristöhallitus, Helsinki. 206 sivua.
- Salonen S.; Frisk, T.; Kärmeniemi, T.; Niemi, J.; Pitkänen, H.; Silvo, K.; Vuoristo, H. (1992): Fosfori ja typpi vesien rehevöittäjinä - vaikutusten arviointi. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja, sarja A 96. Vesi- ja ympäristöhallitus, Helsinki. 137 sivua.
- Selin, P.; Koskinen, K (1985): Laskeutusaltaiden vaikutus turvetuotantoalueiden vesistökuormitukseen. Vesihallituksen tiedotus No. 262. Vesihallitus, Helsinki. 112 sivua.
- Suomen rakennusinsinöörien liitto (1982): Yleinen vesitekniikka. RIL:n julkaisuja No. 141, Helsinki. 433 sivua.
- Seuna, P. (1982): Influence of forestry draining on runoff and sediment discharge in the Yli-joki basin, North Finland. Aqua Fennica Vol. 12, sivut 3-16.
- Seuna, P., Vehviläinen, B. (1986): Eroosio ja kiintoaineen kulkeutuminen. Teoksessa: Mustonen S. (toim.): Sovellettu hydrologia, vesiyhdistys r.y., Helsinki.
- Stibe, L. (1991): Våtmarker som kvävefälla. Vatten 47, sivut 286-290.
- Taponen, T. (1995): Laskeutusaltat maatalouden vesiensuojelussa: I osa: Teoriaselvitys, II osa: Laskeutusaltaiden vedenlaadun seuranta Helsingin vesi- ja ympäristöpiirissä vuosina 1993 ja 1994. Uudenmaan ympäristökeskuksen julkaisuja No 3, Helsinki. 56 sivua.
- Tiihonen, J. (1994): Laskeutusallas maatalouden aiheuttaman hajakuormituksen vähentäjänä Köyliön Kaukanaranojassa. Pro gradu-tutkielma, Geologian laitos, Turun yliopisto. 50 sivua.
- Wennberg, K. (1991): Våtmark som kvävefälla: En studie av en nyanlagd våtmark i Halland. Seminarier och examensarbeten nr 14. Division of Water Management, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala. 47 sivua.
- Vesihallitus (1986): Maankuivatuksen suunnittelu. I osa, tekstiosa. II osa, liitteet. Vesihallituksen tiedotus 278. Vesihallitus, Helsinki. 241+89 sivua.









Kuvailulehti

Julkaisija	Julkaisu-aika 1.11.1996		
Tekijä(t)	Martti Häikiö ja Jyrki Laitinen. Tukiryhmä: Esko Lakso Oulun yliopisto, Soini Heino, Antti Lehtinen (pj.), Markku Puustinen, Seppo Rekolainen ja Pentti Seuna Suomen ympäristökeskus		
Julkaisun nimi	Laskeutusaltaan toimivuus maatalouden peruskuivatuksen yhteydessä		
Julkaisun osat/ muut saman projektin tuottamat julkaisut			
Tiivistelmä	<p>Laskeutusallastutkimuksissa Rautalammin Kerkonkosken Tuijanpurolla ja Lapuan Luomannevanojalla tutkitaan laskeutusaltaiden vaikutusta maatalouden valumavesien laatuun. Altaat tehtiin valtaajiin peruskuivatushankkeiden yhteydessä kesällä ja syksyllä 1995. Altaiden valuma-alueet ovat kooltaan 1,1 - 1,2 km², josta 20 - 30 % on viljelyksessä olevaa peltoa. Tutkimuksissa on otettu vesinäytteitä altaiden ylä- ja alapuolelta sekä arvioitu altaaseen pidättyneen kiintoaineen määrää ja laatua. Vesinäytteistä on analysoitu kiintoainetta, tyyppiä ja fosforia.</p> <p>Mittausasemien välisillä uomien osilla sattuneet sortumat ovat häirinneet Tuijanpuuron tutkimusta. Pääosa veteen syyskuun 1995 ja toukokuun 1996 välisenä aikana tulleesta kiintoaineesta on ollut niistä lähtöisin. Ainetaselaskelman perusteella altaaseen pidättyi tänä aikana noin 60 % siihen tulleesta kiintoainesta. Ala-asemalta mitattu kiintoainekulkeutuma on toisaalta ollut 30 % suurempi kuin yläasemalta mitattu. Tutkimuskohteen vauriot korjattiin ja rakenteita vahvistettiin kesäkuussa 1996. Runsassateisen heinäkuun aikana kiintoainepoistuma on ollut mittausasemien välillä 8 %. Tuijanpuuron allas ei ole vaikuttanut merkittävästi tulevan veden ravinnepitoisuuksiin.</p> <p>Luomannevan altaaseen on pidättynyt vain vähän kiintoainetta. Kiintoainetta laskeutui suurimpien virtaamien aikana, mutta muuna aikana tulevan ja lähtevän veden kiintoainepitoisuus on lähes sama. Ravinteiden osalta tulokset ovat samansuuntaisia. Kokonaistypen määrä on todennäköisesti kasvanut altaassa. Kokonaisfosforia on kiintoaineen tavoin pidättynyt parhaiten suurimman virtaaman aikana.</p>		
Asiasanat	Laskeutusallas, kiintoaine, ravinteet, pidättyminen		
Julkaisusarjan nimi ja numero	Pohjois-Savon ympäristökeskuksen moniste 1		
Julkaisun teema			
Projektihankkeen nimi ja projektinnumero			
Rahoittaja/ toimeksiantaja	Pohjois-Savon ympäristökeskus		
Projektiryhmään kuuluvat organisaatiot	ISSN		ISBN
	Sivuja 44		Kieli suomi
	Luottamuksellisuus Julkinen		Hinta
Julkaisun myynti/ jakaja	Pohjois-Savon ympäristökeskus		
Julkaisun kustantaja	Pohjois-Savon ympäristökeskus		
Painopaikka ja -aika			
Muut tiedot			

